COMUNICACIONES VIA SATELITE



NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA



marcombo



BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

COMUNICACIONES VIA SATELITE



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

Apartado de Correos 35432, Barcelona

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-851-7 (Vol. 49)
D. L.: B. 3944-1986

Impreso y encuadernado por
printer industria gráfica, sa c.n. II, cuatro caminos, s/n
08620 sant vicenç dels horts barcelona 1986

Printed in Spain

Comunicaciones vía satélite

INTRODUCCION

Desde que el 4 de octubre de 1957 fuera lanzado por la U.R.S.S. al espacio el «Iskustvenji Sputnik Zemli» («Compañero Artificial de la Tierra»), más conocido simplemente como Sputnik I, no sólo ha pasado algo más de un cuarto de siglo, sino que la evolución tecnológica ha sido exponencial, habiendo alcanzado límites insospechados en aquellas fechas.



A la izquierda, satélite Sputnik 1; la esfera tenía 58 cm de diámetro con un peso de algo más de 83 kg. A la derecha el Explorer 1, con una longitud de 203 cm, un diámetro de 15,3 cm y 14 kg de peso. En ambos satélites se observan las cuatro antenas de comunicaciones.

Lo que fuera una simple bola de aluminio que recorría una órbita elíptica de 215 km de perigeo y 939 km de apogeo y que duró 92 días en órbita, autodestruyéndose en la atmósfera, ha pasado a ser naves como la Columbia con varios computadores a bordo, cámaras de televisión, posibilidad de retorno a la Tierra y lista para ser usada de nuevo al cabo de un mes. Una enorme mole no muy aerodinámica y de un peso casi fabuloso si lo comparamos al del Sputnik.

¿Qué ha posibilitado este progreso? El estudio sobre nuevas aleaciones, nuevas formas de propulsión y, sobre todo, la miniaturización de la electrónica. Las reducidísimas dimensiones de los modernos circuitos electrónicos y sus altas prestaciones han hecho posible la perfección de los lanzamientos espaciales y el posterior control de la nave en vuelo orbital. Para ello se tuvo que desarrollar un nuevo tipo de comunicaciones: la comunicación espacial, y la consecuencia para el hombre de la calle ha sido la comunicación vía satélite.

En la televisión frases como: «Conectamos vía satélite con....» o «Las imágenes recibidas vía satélite de....» se han hecho corrientes hoy en día. Pero ¿qué hay detrás de estas frases?, ¿dónde están esos satélites? A continuación se va a tratar de todas estas cuestiones de manera somera y asequible.

Consideraciones geométricas

Se llama satélite a un cuerpo que gira alrededor de otro de masa preponderante (mayor que la del denominado satélite) llamado cuerpo primario, cuyo movimiento queda determinado principalmente por la fuerza de atracción que éste ejerce sobre aquél.

Orbita

Se denomina órbita a la trayectoria seguida por el satélite al girar en torno al cuerpo primario y que en primera aproximación sigue las leyes de Keppler.

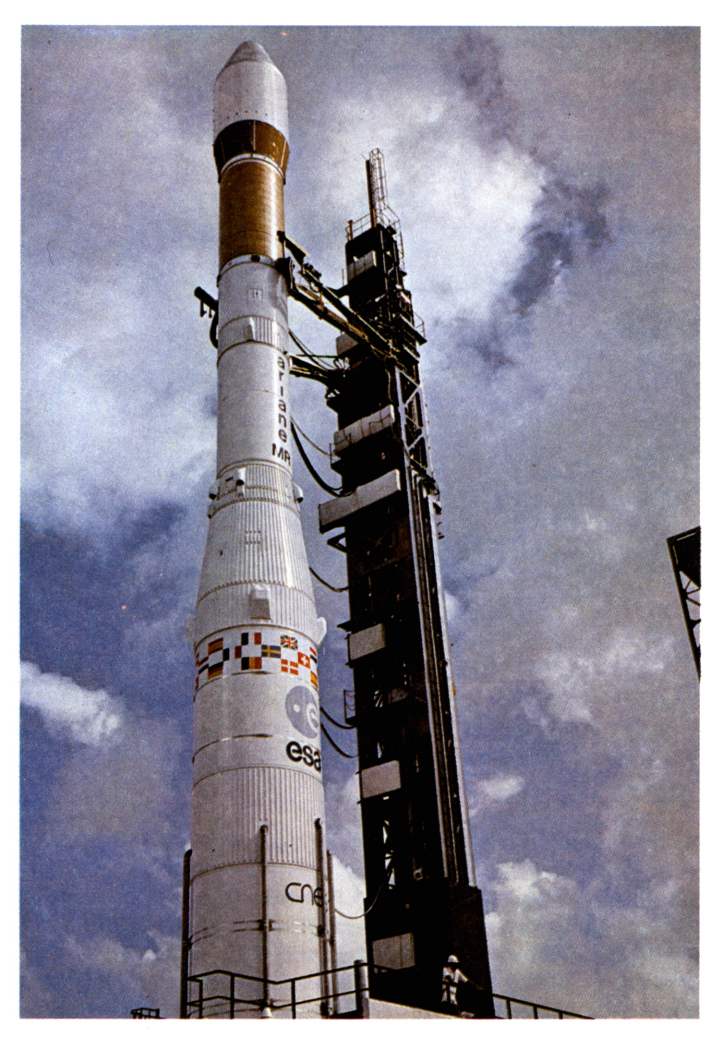
Las tres leyes fundamentales de Keppler son:

1) Las órbitas de los cuerpos celestes (satélites) que giran

alrededor de otro tienen forma de elipse, uno de cuyos focos lo ocupa el cuerpo primario.

2) La línea que une el centro de gravedad del satélite con el centro de gravedad del cuerpo primario (vector cuerpo primario-satélite) barre áreas iguales en tiempos iguales.

3) La relación entre el cuadrado del período T de revolución de un satélite alrededor del cuerpo primario y el



Toda comunicación espacial empieza con una imagen similar a la que aquí puede verse: un cohete dispuesto para efectuar la partida.

cubo del semieje mayor de la elipse es la misma para todos los satélites.

Plano orbital

Además de la órbita, para situar un satélite en el espacio es necesario dar el plano orbital. En general, éste se da en relación a otro plano conocido, como por ejemplo el ecuatorial (figura 4).

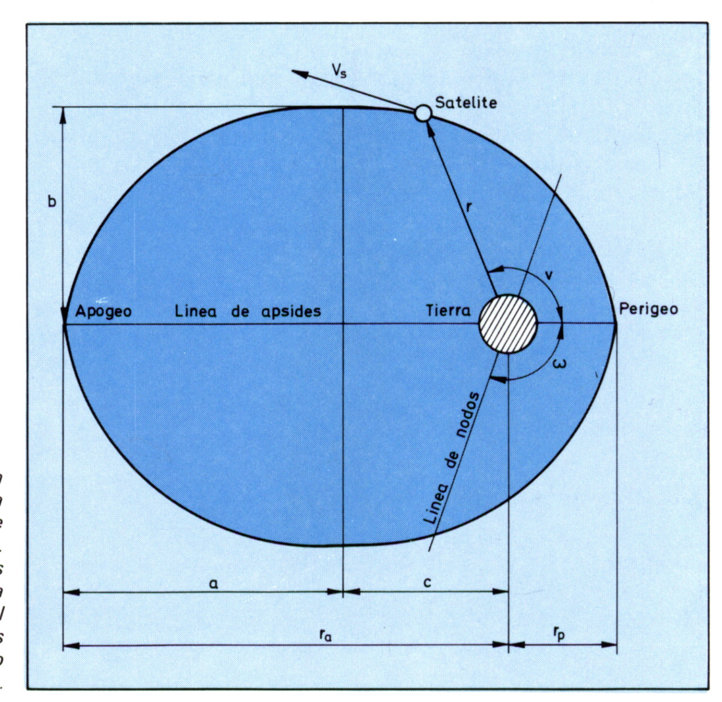


Figura 3. Representación esquemática de la órbita elíptica de todo satélite lanzado desde la Tierra. En el dibujo se indican los puntos más notables de la misma como son: el perigeo, el apogeo, las líneas de nodos y el radio vector (r).

Se denomina inclinación orbital al ángulo formado por la normal a la órbita (orientadas para ver girar el satélite en el sentido de las agujas del reloj), con la línea de los polos, orientada de sur a norte. En la figura 4 se representa este ángulo de inclinación.

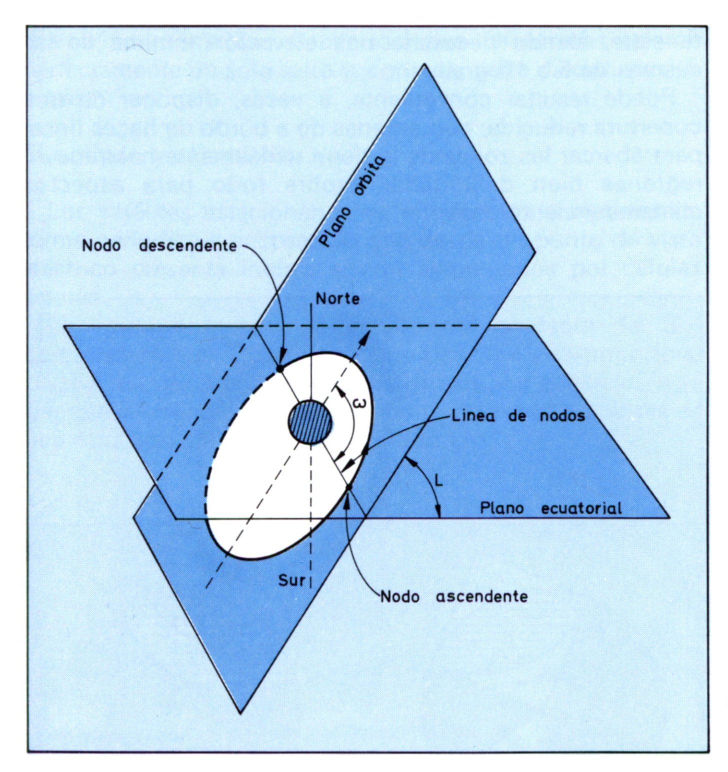


Figura 4. Esquema simplificado del plano orbital que describe la trayectoria de un satélite.

Nodo ascendente (descendente)

Se denomina así al punto en que la órbita de un satélite corta el plano del ecuador, siendo creciente (decreciente) la altura al pasar por este punto.

Cobertura

Se entiende por cobertura máxima a la superficie terrestre subtendida desde un satélite. Esta cobertura geométrica se mide por el ángulo Φ, formado por la prolongación del radio hasta el satélite y otro radio que llega hasta el límite de visión del satélite. La cobertura radioeléctrica máxima es menor que la geométrica, pues las antenas de tierra no pueden apuntar al horizonte debido al excesivo ruido de origen

terrestre, siendo necesaria una elevación mínima de las mismas de 5 a 10 grados.

Puede resultar conveniente, a veces, disponer de una cobertura reducida, con antenas de a bordo de haces finos, para abarcar las zonas de la tierra densamente habitadas o regiones bien delimitadas (sobre todo para aspectos militares y científicos).

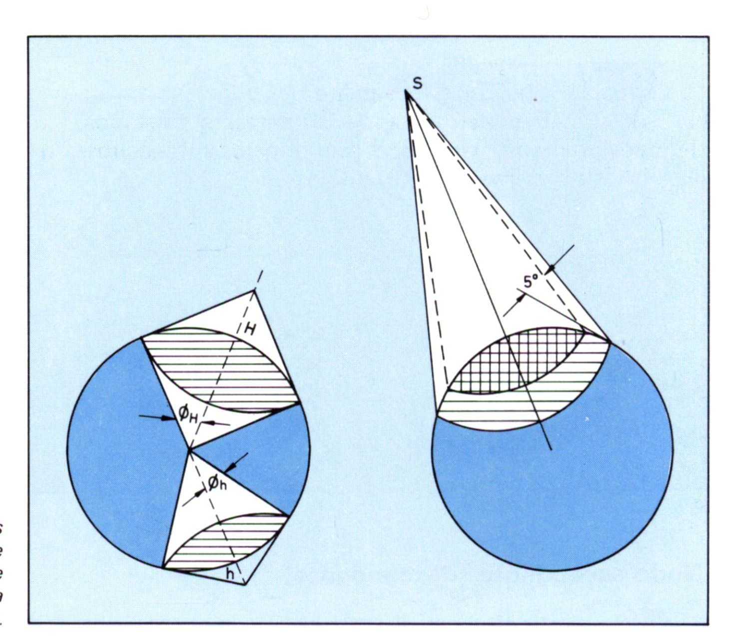


Figura 5. Dibujo de los radios y zonas de cobertura de un satélite en función de la distancia que lo separa de la Tierra.

El problema de la distancia

Como consecuencia de que las órbitas de los satélites suelen ser muy elevadas respecto de la tierra (entre 35.800 y 41.250 km), el tiempo de propagación entre dos estaciones en tierra a través de un único satélite varía entre 0,238 y 0,275 segundos. Esto ocasiona perturbaciones en las comunicaciones bilaterales «simultáneas», que pueden hacerse por éstas cuando sea necesario utilizar dos o tres satélites (el tiempo de propagación queda multiplicado por

dos o por tres). Las conversaciones telefónicas toleran perfectamente un solo salto y, con una cierta disciplina, dos o tres.

El eclipse y el satélite

Los satélites estacionarios se encuentran sometidos de forma periódica a eclipses, lo que desde un punto de vista eléctrico presenta interés si son alimentados por células solares.

La figura 6 muestra el movimiento aparente del Sol con relación a la Tierra; el satélite describe una trayectoria circular perpendicular al papel. Durante los solsticios está siempre iluminado, pero en los equinoccios sufre eclipses de una duración máxima de 70 minutos.

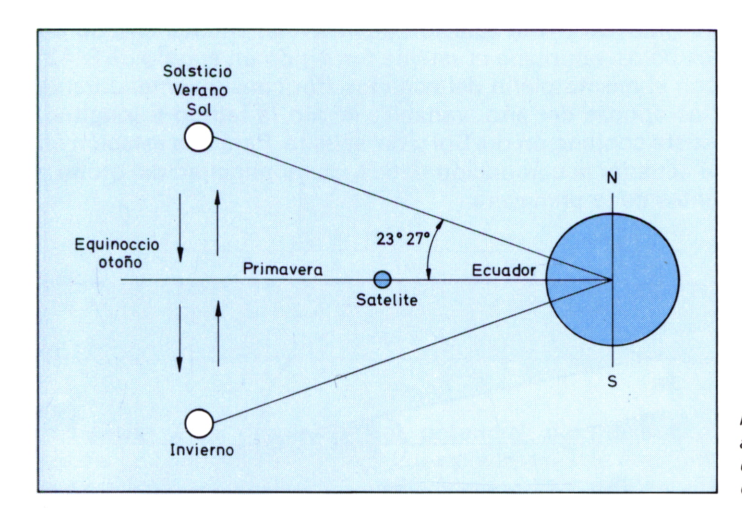


Figura 6. Movimiento aparente del Sol respecto de la Tierra en las distintas estaciones.

Las figuras 7 y 8 indican respectivamente cómo se halla la duración máxima del eclipse (equinoccio) y el primer día de otoño en que se produce un eclipse.

La figura 9 indica la duración de los eclipses según la época del año. Puede notarse el solapamiento que existe en cuanto a los dos semestres y que la duración es máxima en los tiempos centrales de cada uno.

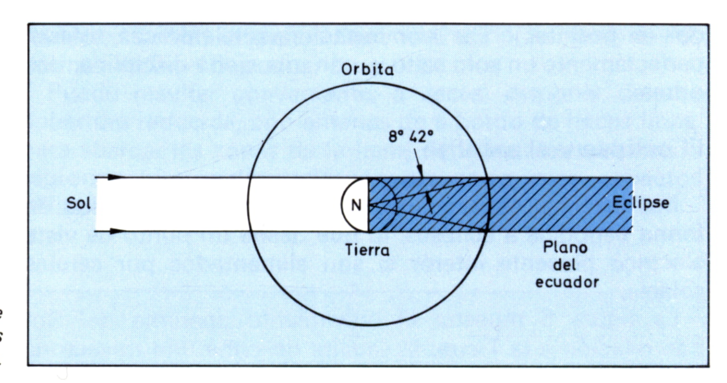


Figura 7. Eclipse producido durante los equinocios.

La conjunción del sol y del satélite

El Sol forma con el plano del ecuador un ángulo variable de ±23° 27′. Una estación que estviera situada en uno de los polos, apuntaría al satélite formando un ángulo de 8° 42′ con ėl mismo plano del ecuador. Por consiguiente, durante dos épocas del año, variables según la latitud y longitud, existe conjunción del Sol y del satélite. Para una estación en el ecuador la conjunción tiene lugar al principio del otoño y antes de la primavera.

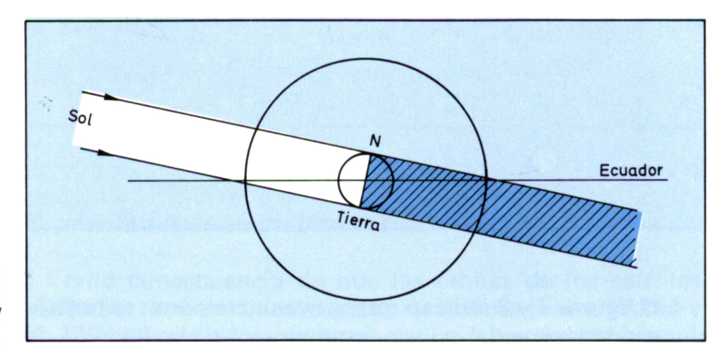


Figura 8. Primer día de otoño en el que se produce un eclipse del satélite.

Para una antena de 1° de abertura (3 m de diámetro a 7 GHz) su duración es de 8 minutos como máximo y sólo se produce algunos días y de día.

Perturbaciones en la posición nominal de un satélite

Existen y se deben tener en cuenta las diferentes fuerzas perturbadoras que permanentemente tienden a alejar a un satélite estacionario de su posición nominal.

Estas causas se deben a:

— La disimetría del potencial de gravitación terrestre.
— La atracción de la Luna y del Sol.
— La presión de radiación solar.

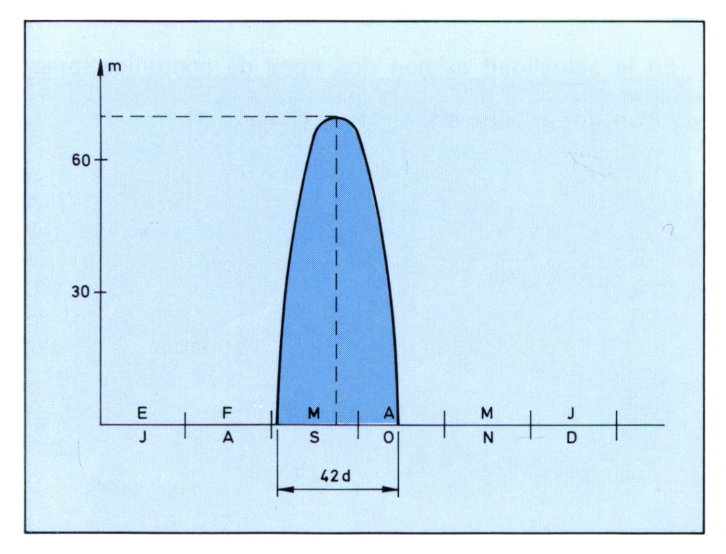


Figura 9. Gráfica de la duración de los eclipses de los satélites en función de la época del año.

Debido a la disimetría del potencial de gravitación, aparecen en el plano ecuatorial dos posiciones de equilibrio estable (aproximadamente 105° oeste y 75° este) y dos posiciones de equilibrio inestables (aproximadamente 15° oeste y 165° este) que producen la deriva de los satélites hacia las posiciones estables, oscilando alrededor de las mismas en caso de no corregirse artificialmente la posición nominal.

El período de oscilación natural, según el punto de partida considerado, es de al menos dos años, y la deriva por día puede alcanzar 0,6°.

La influencia de la Luna y del Sol se manifiestan

esencialmente por un movimiento perpendicular al plano del ecuador. Tiene como consecuencia un cambio en la inclinación del plano de la órbita de, aproximadamente, 1° por año (0,3° debidos al Sol y 0,7 a la Luna).

El efecto de la presión de radiación solar tiene lugar sobre la excentricidad de la órbita, y depende de la relación de la superficie de los paneles solares a la masa del satélite. Tiene poca importancia en los satélites actuales.

COMUNICACIONES ENTRE SATELITES. CLASES

En la actualidad existen dos tipos de comunicaciones: enlaces de servicios fijos y enlaces ascendentes (Tierra-satélite) y descendentes (satélite-Tierra).

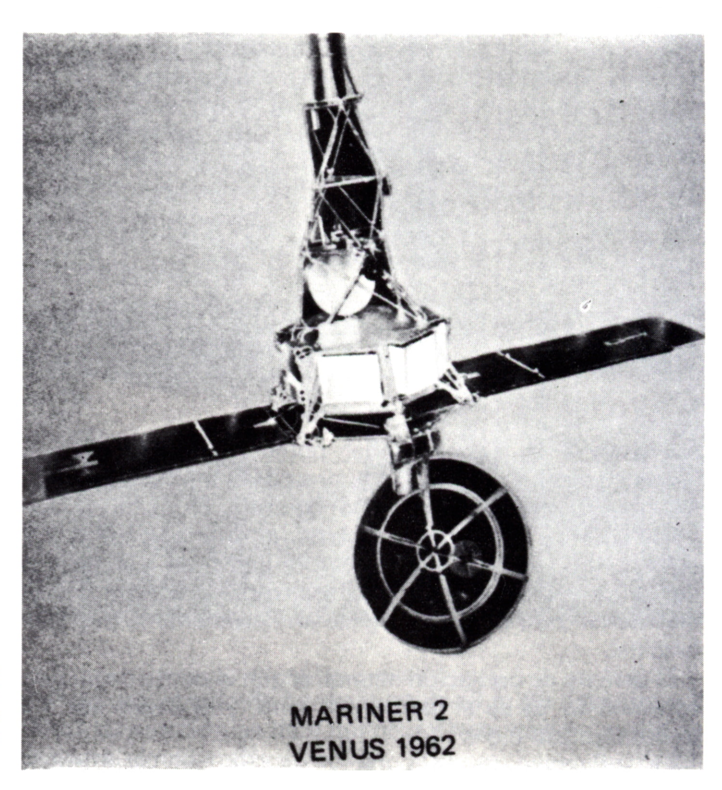
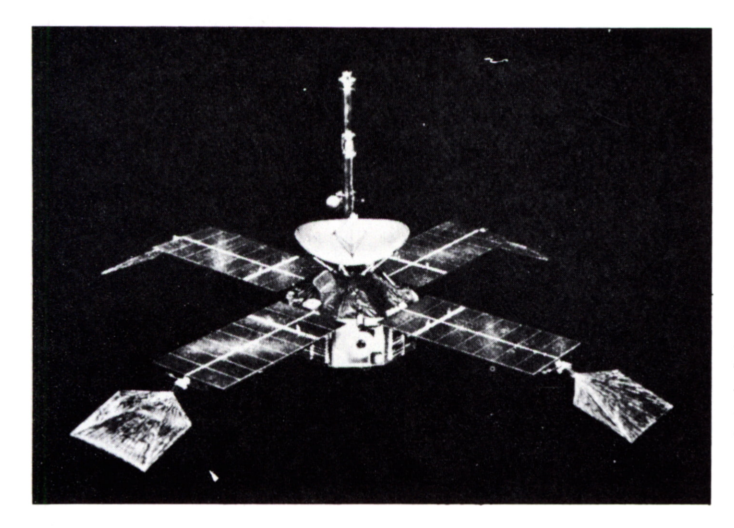


Imagen de los primeros satélites que exploraban el espacio exterior, en este caso se trata del Mariner II.

Los primeros están destinados a la transmisión de informática entre puntos determinados de la Tierra cuyo enlace se efectúa a través del satélite.

Los segundos son aquellos, efectuados por satélites, que son diferentes de los servicios fijos. Un ejemplo de descendentes son los efectuados por satélites meteorológicos y de los ascendentes se pueden nombrar los de difusión y del servicio marítimo.

Las frecuencias utilizadas en los sentidos Tierra-satélite y satélite-Tierra deben ser distintas para evitar interferencias. Esto hace que el aprovechamiento del espectro sea menor.



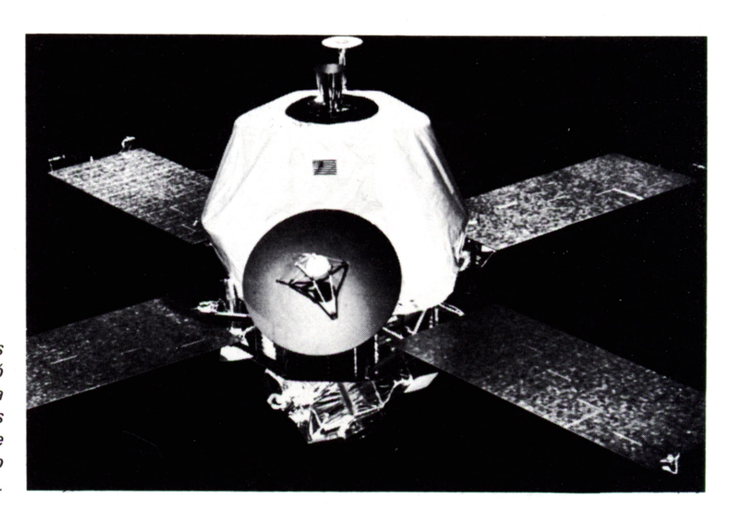
Las necesidades energéticas de los satélites, que han ido incorporando nuevos equipos, han hecho evolucionar los paneles solares. En la fotografía, el Mariner IV.

En el futuro serán necesarios otros tipos de enlaces entre satélites relevadores (que son aquellos que se utilizan en un paso intermedio antes de reexpedir la señal a la Tierra). Estos serán: enlaces espacio-espacio entre dos satélites geoestacionarios de un mismo sistema de comunicaciones, y enlaces espacio-espacio entre un satélite geoestacionario que haga de revelador entre la Tierra y otro satélite no síncrono en ambos sentidos.

Este tipo de enlaces presenta la ventaja de no necesitar estaciones terrestres intermedias para analizar dos puntos de la tierra muy alejados.

CLASIFICACION DE SATELITES

Las comunicaciones entre estaciones terrestres se pueden realizar utilizando diversos tipos de satélites. Al principio de los años 60, época en la que se estaba experimentando sobre diversas posibilidades de telecomunicación espacial, los globos mecánicos fueron los primeros satélites de comunicaciones. Su función era exclusivamente la de reflejar la energía recibida. La serie ECO (I, II) y el PAGEOS I (Passive Geodesic Satellit) eran de este tipo.



Además de los paneles solares también sufrió modificaciones la estructura general de los satélites, como puede observarse en este modelo de los Mariner VI y VII.

Una ventaja de esta clase de satélites era la posibilidad de utilizar en la emisión cualquier frecuencia, pero la esencial era la ausencia de fuente de energía a bordo, por lo que a los satélites de este tipo se les denomina «positivos». Su principal desventaja era la incapacidad para retransmitir grandes anchos de banda y la imposibilidad de resistir largo tiempo las condiciones ambientales del espacio exterior (meteoritos, polvo cósmico, etc.) Actualmente, todos los satélites puestos en órbita son activos, es decir, son capaces de captar las señales enviadas desde los transmisores terrestres y, debilitadas por la propagación, las amplifican y las reemiten al receptor, utilizando para ello fuentes de energía internas.

En general, un satélite está animado de una velocidad relativa con respecto a la Tierra, estableciéndose un movimiento de rotación alrededor de la misma. A este tipo de satélite se le llama «no estacionario». Este movimiento aparente depende de las características de la órbita, que son la altitud del perigeo y del apogeo y la inclinación del plano orbital. Si se escogen de manera adecuada estos parámetros el satélite puede parecer inmóvil en relación a la Tierra, entonces se dice que estos satélites son estacionarios. La ventaja de estos últimos respecto a los no estacionarios es que las antenas terrestres no deben seguir la trayectoria del satélite, esto es, son antenas fijas.

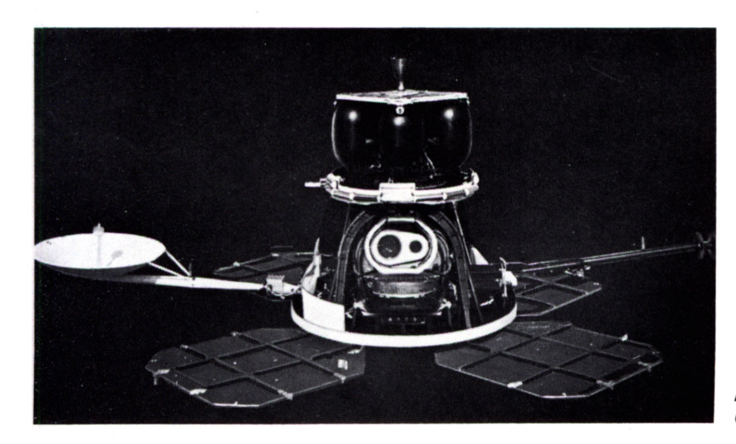


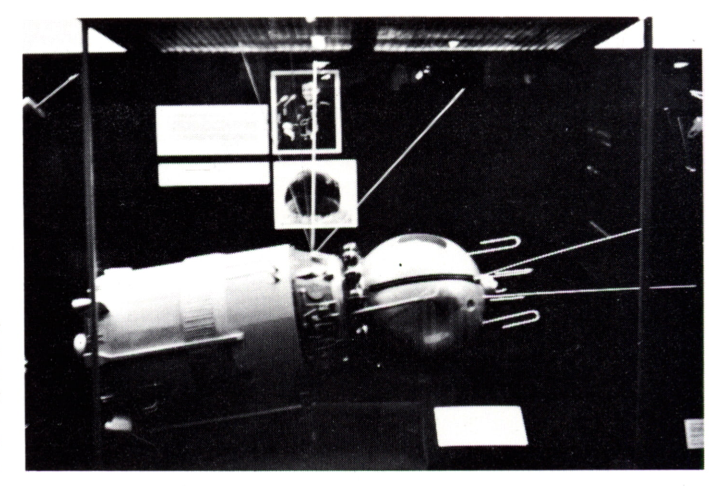
Imagen del satélite Lunar Orbiter.

El caso de sistema de telecomunicaciones Molnya I es el típico de un satélite no estacionario. Fue puesto en funcionamiento por la U.R.S.S. en 1965. Se utilizó para retransmitir líneas telefónicas y telegráficas, así como para distribuir programas de televisión.

El período de revolución de este satélite era de doce horas, su peso de 1.000 kg y la potencia del transmisor, que trabajaba entre 700 y 1.000 MHz, de 40 W.

El satélite SCORE (Signal Communications Orbit Relay Experiment), lanzado el día 19 de diciembre de 1958, y el Courier, aun siendo satélites no estacionarios utilizaban otra

técnica para la transmisión. Volaban a baja altura, por lo que sus períodos de revolución eran más cortos y las pérdidas de las ondas debido a la distancia que atravesaban (entre la estación terrena y el satélite) eran mucho menores que en el caso del Molnya, y las antenas de tierra podían ser más pequeñas. Pero, en contrapartida, su escasa altura sobre la Tierra hacía que cubriera poca superficie, con lo que era necesario el almacenamiento de la información que recibía y liberarla en el momento de pasar por encima de la estación receptora.



La forma exterior de las naves rusas es bastante diferente de la que acostumbran a tener los satélites norteamericanos. Aquí se presenta una nave del tipo Vostok.

EL SISTEMA INTELSAT

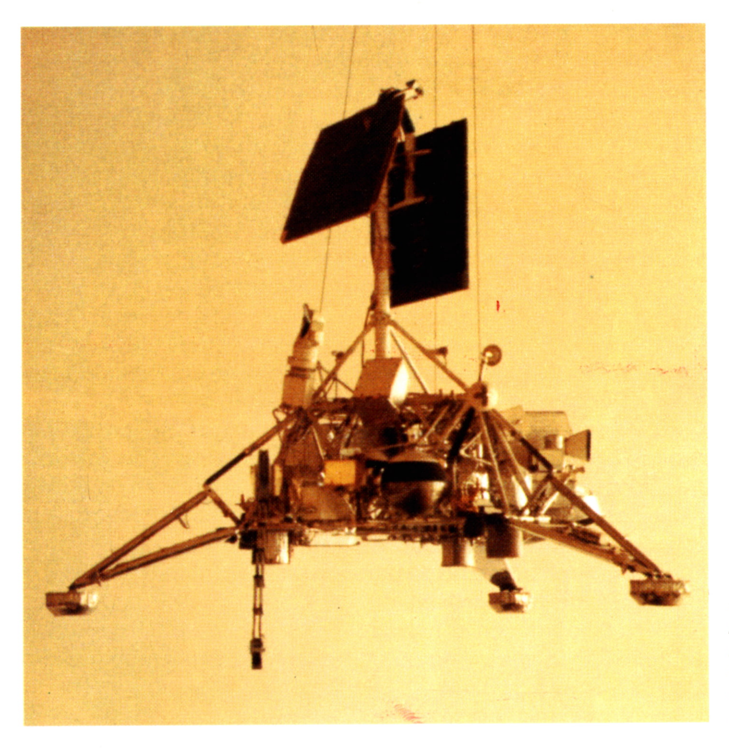
En 1964, un grupo de 14 naciones fundaron la Organización Internacional de Telecomunicaciones Vía Satélite (INTELSAT), que contaba en 1965 con un solo satélite capaz de manejar 240 circuitos vocales y unía EE.UU. y Europa. En 1970 el número de países asociados a este organismo era de 86, disponía ya de cuatro satélites, con una capacidad media de 5.000 circuitos vocales por satélite, y cubría toda la Tierra mediante 70 estaciones terrestres con 86 antenas en 53 países.

Los satélites activos con repetidores de microondas poseen dos ventajas fundamentales:

1) El ancho de banda.

2) La posibilidad de acceso a los mismos por varios usuarios a la vez, lo que posibilita las comunicaciones entre varios pares de estaciones terrestres visibles desde el satélite.

Esta última ventaja resulta ser decisiva frente al cable, ya que éste sólo posee una entrada y una salida mientras que el satélite posibilita la comunicación multimodo adecuándose, además, a la demanda.



La sofisticación necesaria para hacer que las naves pudieran alunizar hizo que adquirieran formas extrañas, como la del Lunar Surveyor.

Desarrollo histórico

Ya en 1945 el ingeniero Arthur C. Clarke escribió prediciendo la aparición de los satélites activos para telecomunicaciones tan pronto como existieran los cohetes lanzadores adecuados.

También predijo que la energía necesaria sería extraída de la radiada por el Sol mediante paneles solares. Nadie hizo caso de todas estas predicciones hasta que fue lanzado el SPUTNIK.

Sin embargo, desde 1954 ya se habían llevado a cabo transmisiones utilizando como reflector la Luna. En 1957 se pudo establecer comunicación entre Anapolis y Hawaii mediante este sistema. El transmisor tenía una potencia de 100 kW, trabajaba en la frecuencia de 430 MHz y las antenas eran del tipo parabólico de 26 metros de diámetro.

Entre 1954 y 1962 se analizaron los pros y los contras de las comunicaciones con satélites pasivos y con satélites activos, desarrollándose experimentos como parte del proyecto ECHO.

El mayor problema para la utilización de satélites activos estribaba en la necesidad de tener fuentes de energía adecuadas, controles sofisticados de altitud y una buena estabilización orbital. Esto ocasionó que los primeros satélites fueran simples reflectores que no tenían estos problemas, mientras la ciencia avanzaba en busca de soluciones satisfactorias para los problemas de los activos. En cuanto se encontraron estas soluciones, dejaron de lanzarse satélites pasivos y todos los posteriores han sido del tipo activo.

Los primeros cohetes eran sólo capaces de poner en órbitas bajas pesos pequeños. Esto llevaba consigo que los períodos de revolución alrededor de la Tierra fueran de pocas horas, por lo que eran visibles desde la estación receptora o emisora durante muy poco tiempo. En consecuencia, para que la comunicación no se parara hasta la próxima aparición, era necesaria la aparición de un nuevo satélite cuando el primero se perdía en el horizonte. Un sistema propuesto por aquella época para enlazar América y Europa requería 50 satélites en órbita baja.

Los proyectos Telstar y RELAY demostraron la flexibilidad de los satélites activos en órbitas de altitudes media y baja.

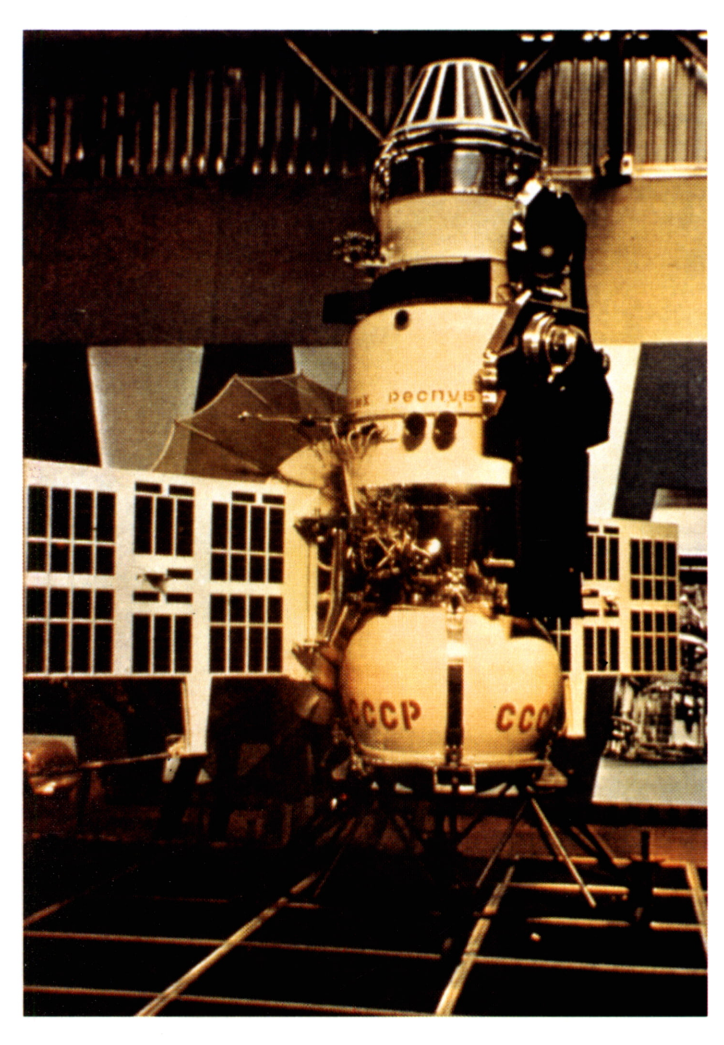
El siguiente paso en la evolución fue el uso de satélites de órbita geoestacionaria, la cual es un órbita ecuatorial a una altitud de 34.863 km.

Bajo estas condiciones el período de rotación corresponde al de un día sideral (23 horas, 56 minutos, 4,1 segundos) y la velocidad es de 3.075 m/s.

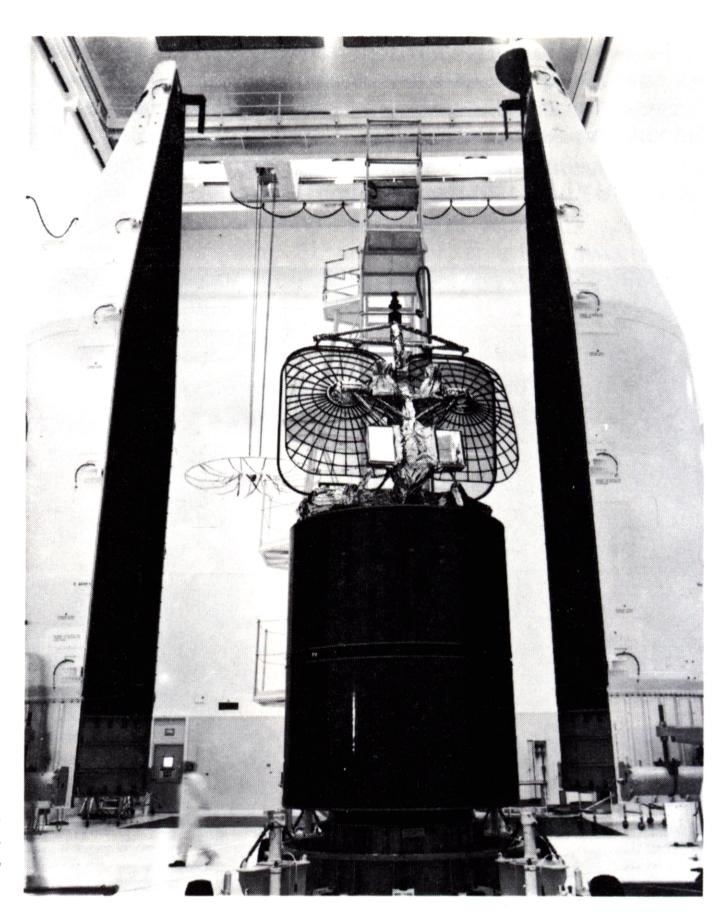
El satélite en órbita geoestacionaria parece estar siempre

en un punto fijo sobre la Tierra, y es capaz de cubrir las cuatro décimas partes de la superficie total de nuestro satélite.

Evidentemente, la puesta en órbita de un satélite geoestacionario no es una tarea fácil y no se consiguió del todo hasta los lanzamientos segundo y tercero de la serie SYNCOM (julio, 1963 y agosto, 1964).



Más allá de la Luna están otros planetas, y Venus fue uno de los objetivos de la exploración exterior de la URSS. Aquí puede verse la nave Venera IV que se utilizó para llevar a cabo este cometido.



Satélite preparado para ser encapsulado antes de proceder a su lanzamiento.

Como ya se ha dicho, sobre un satélite geoestacionario actúan diversas fuerzas que tienden a sacarlo de esa posición, entre ellas sobresalen la atracción lunar, la presión debida a la radiación solar y la forma panzuda de la propia tierra en el ecuador, por ello es necesario de vez en cuando reajustar la posición y mantener un estricto control de la altitud desde estaciones terrestres de vigilancia.

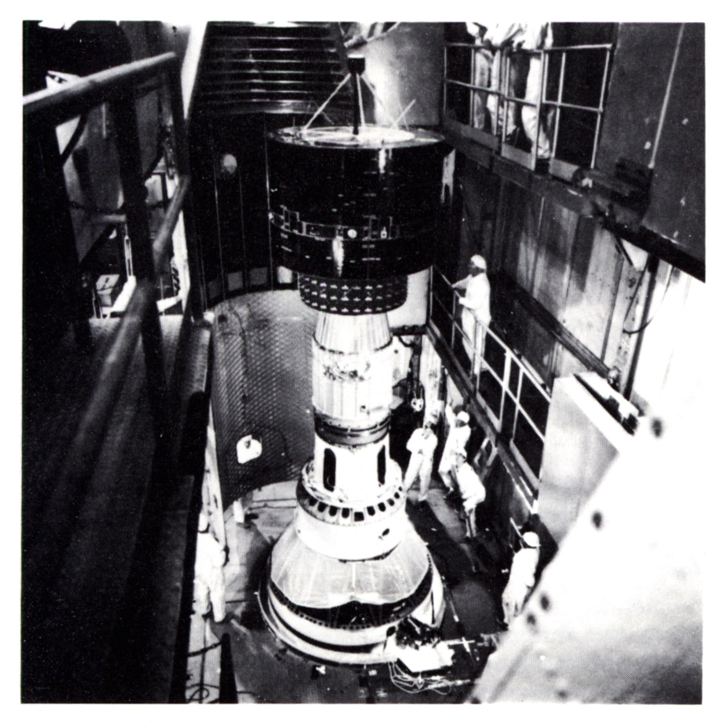
Características del sistema INTELSAT

El primer lanzamiento llevado a cabo por la organización

INTELSAT tuvo lugar el 6 de abril de 1965 desde Cabo Kennedy. Ese día se puso en órbita ecuatorial síncrona el INTELSAT I sobre el Atlántico. Su capacidad, como ya se ha dicho, era de 240 circuitos vocales.

En seis años se desarrollaron tres nuevos satélites (los INTELSAT II, III y IV), incrementándose la capacidad hasta alcanzar los 5.000 circuitos vocales.

El INTELSAT IV mide 550 cm de alto por 240 cm de diámetro y su masa es de 700 kg. El control de altitud está asegurado por la fuerza giroscópica resultante del giro sobre él mismo.



El GOES-C en el momento del encapsulamiento. Al fondo puede verse la típica forma que posteriormente tendrá el conjunto lanzador-satélite.

La flexibilidad operacional del satélite queda asegurada por el uso de una configuración múltiple de los repetidores, con 12 transponders (conjunto de emisor-receptor), cada uno de los cuales tiene un ancho de banda de 36 MHz. Las

frecuencias más altas de trabajo están en la región de los 6 GHz y las bajas alrededor de 4 GHz. Cada satélite de esta serie es capaz de proporcionar entre 3.000 y 9.000 circuitos vocales o, alternativamente, 12 canales de televisión.

Cada transponder, por su parte, es capaz de manejar desde 900 canales vocales con una portadora hasta 400 canales con 4 portadoras.

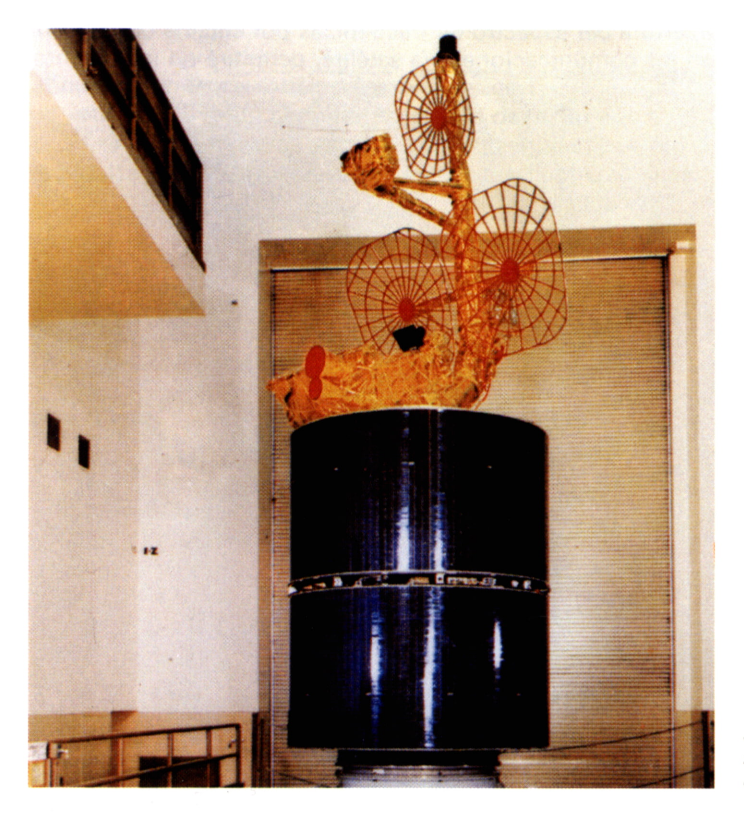
Regularización del tráfico

El INTELSAT IV permite enlazar estaciones que trabajen tanto en multiplexado por división de frecuencia (FDM) como en modulación de frecuencia (FM) o acceso múltiple en el dominio de la frecuencia (FDMA). Este satélite es capaz de adecuarse a múltiples tipos de modulación y diferentes métodos de acceso múltiple. Además, permite a numerosas estaciones terrestres encaminar varias comunicaciones de dos vías entre ellas a través del mismo satélite. Un segundo satélite INTELSAT situado sobre el Atlántico puede ser configurado de forma que todas las estaciones hagan uso de un solo satélite, mientras unas cuantas estaciones con demandas de tráfico muy altas usan el segundo satélite.

Cuando se utilizan canales preasignados y varias portadoras, en el transponder se genera ruido de intermodulación. Este problema es mantenido dentro de límites tolerables reduciendo el número de canales fónicos por transponder. Para ello se ha desarrollado el sistema DAMA (acceso múltiple por asignación a la demanda). Esto genera variaciones de la carga que soporta cada transponder y de la capacidad del mismo.

La capacidad de comunicación entre los diferentes INTELSAT IV es de ancho de banda limitado; consecuentemente, es posible suministrar comunicaciones a y desde terminales terrenas pequeñas. Las ventajas son su bajo coste, proximidad al usuario y el hecho de ser transportable. El término «terminal pequeño» implica que las aperturas de las antenas pueden ser más pequeñas que las estándar para las estaciones de INTELSAT (que son de alrededor de 30 metros de diámetro). Los pequeños terminales de mayor interés tendrán antenas entre 5 y 10 metros de diámetro, lo cual rebajará de manera considerable el coste de las mismas. En contrapartida, usarán la capacidad del satélite de forma menos eficiente.

La capacidad de los transponders, en el caso de ancho de banda limitado, no decrece aun en el caso de que los terminales usen antenas de 10 metros de diámetro y amplificadores sin refrigerar.



Satélite de la serie Intelsat IV, dispuesto para su encapsulamiento.

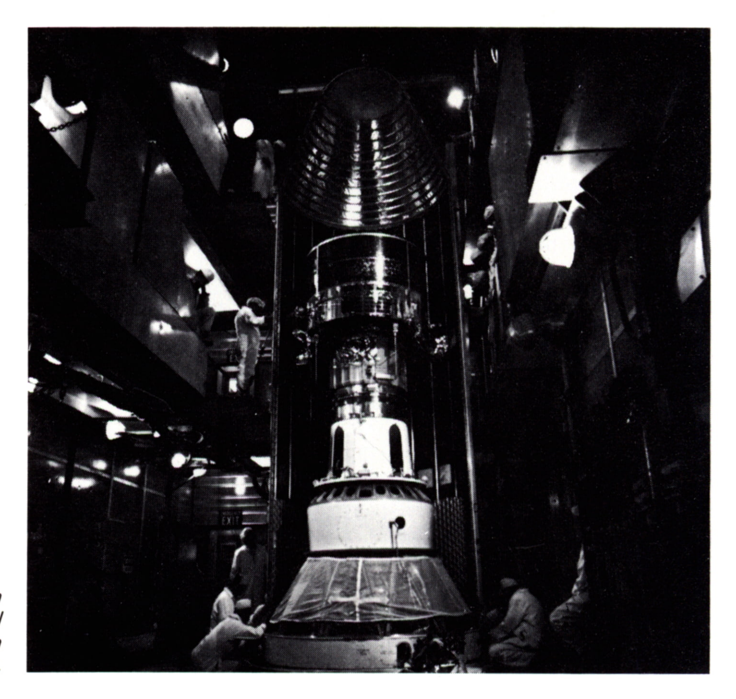
El coste de un equipo mínimo para una estación terrena de INTELSAT es de, aproximadamente, dos millones de dólares, mientras que un pequeño terminal con antena de 5 metros de diámetro viene a costar sólo 150.000 $.

El INTELSAT IV y el futuro

En el futuro los nuevos satélites deberán disponer de una capacidad de entre 50.000 y 100.000 circuitos telefónicos.

Para poder conseguir esta cantidad se deberá incrementar la sofisticación de la estructura mecánica, de los subsistemas de orientación y de posicionamiento, de los sistemas de comunicación propiamente dichos y, por el incremento, de la eficacia en los sistemas conversores de energía. La apertura del espectro de frecuencias por encima de 10 GHz en las comunicaciones vía satélite, permitirá un incremento en la capacidad de las comunicaciones de al menos cinco veces con respecto al uso de la banda entre 4 y 6 GHz.

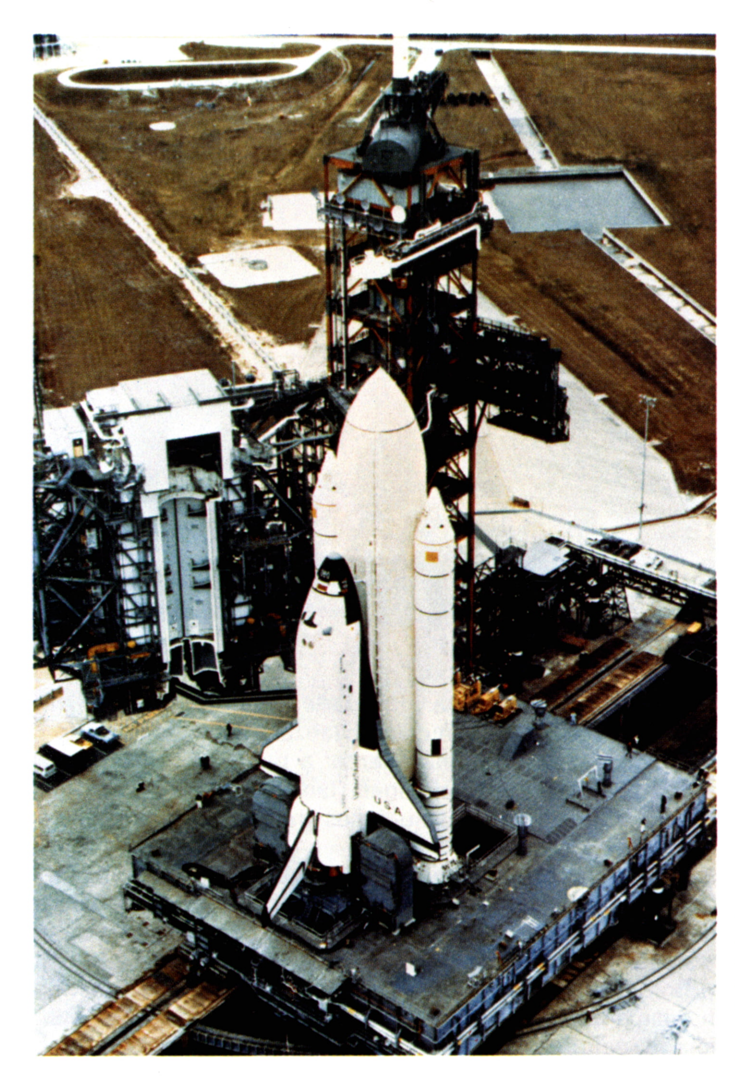
Las aplicaciones de las técnicas de procesamiento de la señal en banda base a la voz y al video, permiten ya duplicar la capacidad al doble.



Vista del GOES-C con la mitad del encapsulamiento ya colocado.

Dentro de una trama dada, las divisiones temporales son asignadas a estaciones terrenas que desean conectar con otras estaciones. Durante el primer intervalo, cada estación terrena conecta consigo misma a través del satélite para sincronizarse y distribuir el tráfico dentro de su propia antena

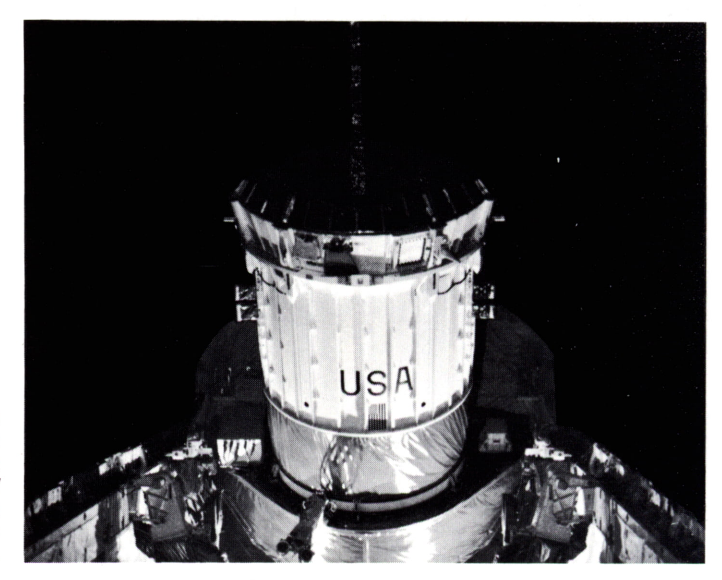
vía satélite. Por lo tanto, cada estación transmite esencialmente a otras estaciones terrenas utilizando un modo «traza» (BURST) y un algoritmo, el cual previene posibles interferencias mutuas. Como consecuencia de que cada transmisor opera en modo de simple portadora en saturación, y porque



La lanzadera espacial a punto para ser enviada al espacio junto con sus tanques auxiliares de combustible y los cohetes anexos que le permitirán ponerse en órbita.

el peso y la potencia requeridas para la conmutación son pequeñas, el sistema TDMA del satélite conmutado es altamente eficiente.

Este sistema también ofrece un alto grado de flexibilidad, ya que la situación de las divisiones temporales puede cambiarse rápidamente para adaptarse a las necesidades de la red.



Un satélite estadounidense en la cabina de carga de la lanzadera espacial Challenger, en una misión anterior a su desintegración.

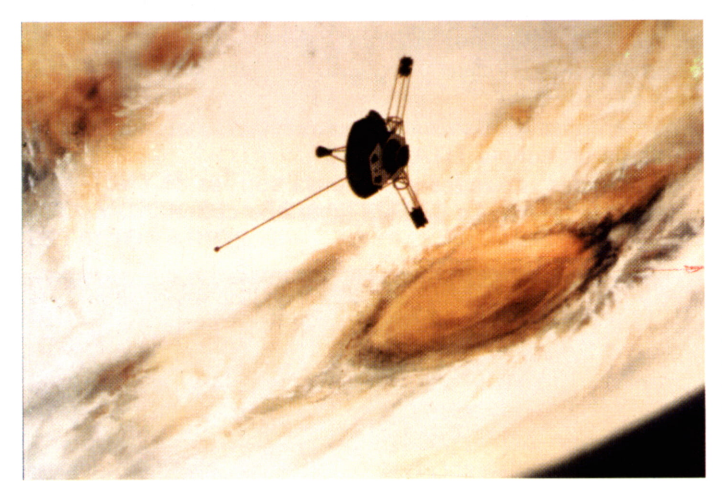
Hasta hace poco, una gran parte del costo efectivo del satélite era debida al vehículo de lanzamiento utilizado. Con el nuevo sistema de lanzamiento, a partir del éxito de las naves Columbia y Challenger (lanzaderas espaciales) se espera poder llegar a soluciones mucho más baratas en cuanto a su coste.

Las comunicaciones mundiales están siendo revolucionadas por los sistemas de comunicaciones vía satélite. Pero esto no es más que el principio de lo que traerá en el futuro la era espacial.

En cualquiera de los casos la electrónica seguirá siendo el fundamento de todos los procesos de comunicación y su importancia será creciente.

OTROS PROYECTOS

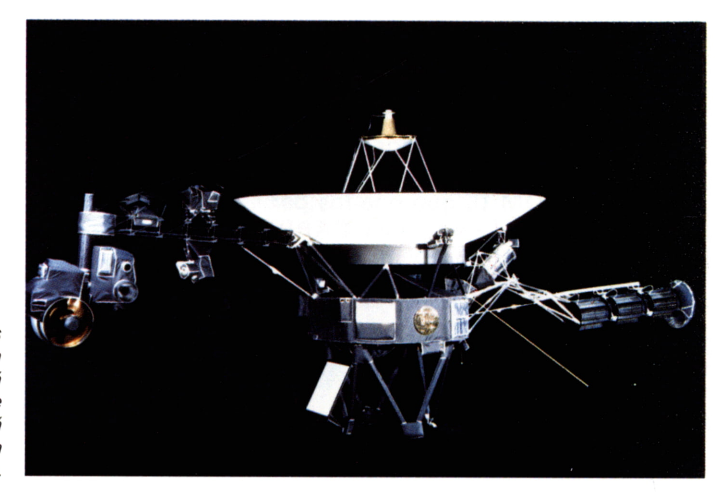
Además del sistema INTELSAT, existen una gran diversidad de sistemas y programas en constante desarrollo que abarcan prácticamente todos los aspectos de las telecomunicaciones. Como ejemplos podemos citar para defensa el sistema SATCOM II, que une los países de la OTAN; para fines científicos el programa GARP (Global Athmosferic Research Program), dedicado al estudio de la atmósfera; el ERTS (Earth Resources Technology Satellite), dedicado a la búsqueda de nuevas fuentes de materias primas en la tierra; el INTASAT (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), el primer satélite español para fines científicos que se lanzó en 1975 destinado al estudio del efecto Faraday; para comunicaciones el proyecto MARISAT (Maritime Satellite) y el AEROSAT; El ESRO para difusión de televisión vía satélite.



El Pioneer X orbitando Júpiter. Al fondo se divisa la gran mancha roja. Los satélites destinados a la exploración del espacio nos ayudarán a descifrar gran parte de los misterios del Universo.

Otro sistema gubernamental americano para la defensa es el IDCSS (Initial Defense Comunication Satellite System), constituido por 26 satélites de deslizamiento lento (30° por día). Lanzados por grupos de ocho con la ayuda de un TITAN-III-C, estos satélites estabilizados por rotación son muy simples. Nunca funcionan en eclipses.

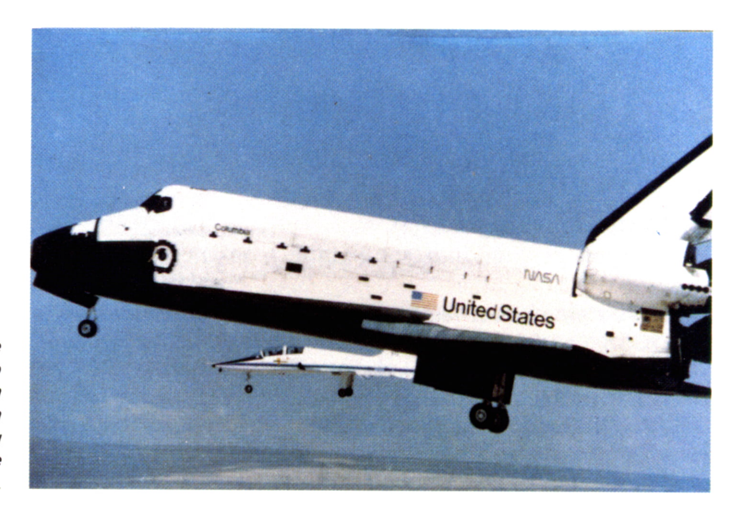
A partir de 1972 el sistema anterior fue sustituido por el



Uno de los proyectos más ambiciosos, la exploración del espacio exterior, está aún desarrollándose. He aquí la nave que lo está llevando a cabo: la Voyager.

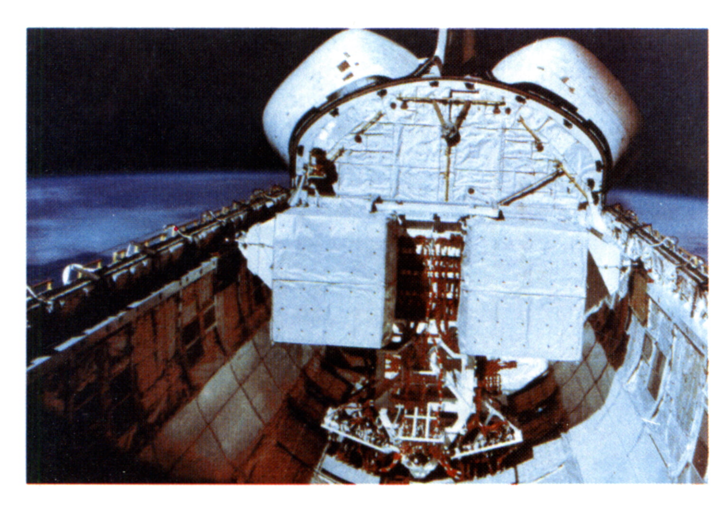
DCSS. Con sólo tres satélites se asegura la cobertura mundial, mientras que un cuarto se destina a satélite de auxilio. Cada satélite, de masa 445 kg, está equipado con cuatro antenas. Su lanzamiento se efectúa por pares con la ayuda de un cohete TITAN-III-C.

Otras redes utilizadas en defensa son las SKYNET y las redes de la OTAN. La primera tiene una cobertura mundial,



Regreso de la nave Columbia a la Tierra. Lo hace planeando sin utilizar ningún motor, ya que termina su combustible antes de penetrar en la atmósfera.

mientras que la segunda concentra sus haces sobre Europa. Aparte de conectar los gobiernos de la OTAN entre sí, también conecta las comandancias militares con las fuerzas tácticas.



Cabina de carga de la lanzadera espacial abierta, mostrando su contenido en pleno vuelo.

EVOLUCION DE LOS SATELITES ESTACIONARIOS

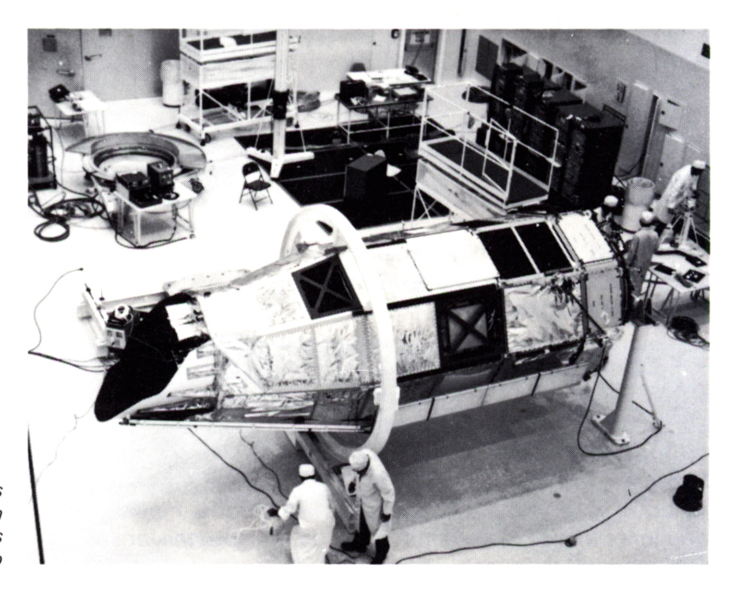
En los últimos 20 años los satélites estacionarios han sufrido una rápida evolución en cuanto al tiempo de vida, que se ha duplicado, y en cuanto a las masas, que se han multiplicado por diez. Además, se ha avanzado considerablemente en los equipos conversores de energía. Pero delante de todos estos avances se podría mencionar el creciente aumento de la potencia de los cohetes lanzadores, que permiten la puesta en órbita de masas muy importantes. El SATURNO V es capaz de poner en órbita 30 toneladas de material, cuestión aparte es la enorme capacidad de las lanzaderas espaciales.

PROBLEMA FUNDAMENTAL DE LAS COMUNICACIONES VIA SATELITE: EL RUIDO

El sol, las estrellas, la luna y los planetas son fuentes de

ruido, sobre todo para frecuencias inferiores a 1 GHz. En general dicho ruido varía de forma proporcional al f^{-n}, donde f es la frecuencia y n es una constante para cada fuente de ruido.

El ruido galáctico es el originado por las nebulosas concentradas cerca del disco central, por el hidrógeno ionizado también en el disco, por trozos de estrellas supernovas en la galaxia, por la radiación de electrones que giran en espiral dentro de un campo magnético débil en la galaxia y otras fuentes. Una fuente de ruido discreta son las radioestrellas, que no son estrellas necesariamente. Las principales son: las galaxias lejanas, como CASIOPEA A, TAURO A, VIRGO A, CENTAURO A, etc. Otras son restos de supernovas y algunas nebulosas.



Un momento de las pruebas a que son sometidos los satélites antes de su lanzamiento

El ruido solar es la principal fuente de ruido. Su espectro de radiofrecuencia es sumamente complejo, y su comportamiento es distinto según esté «quieto» o «perturbado». Este último estado tiene lugar cuando ocurre lo que se llama tormentas de ruido, que consisten en trenes de impulsos aperiódicos y en un aumento de radiación.

Entre los planetas, la principal fuente de ruido la constituye el planeta Júpiter.

En segundo lugar se encuentra Saturno, con emisiones menos intensas que las de Júpiter. También Venus emite impulsos de ruidos muy cortos y otros mucho más largos.

La Luna es otra fuente de ruido radioeléctrico en la banda de las ondas milimétricas.



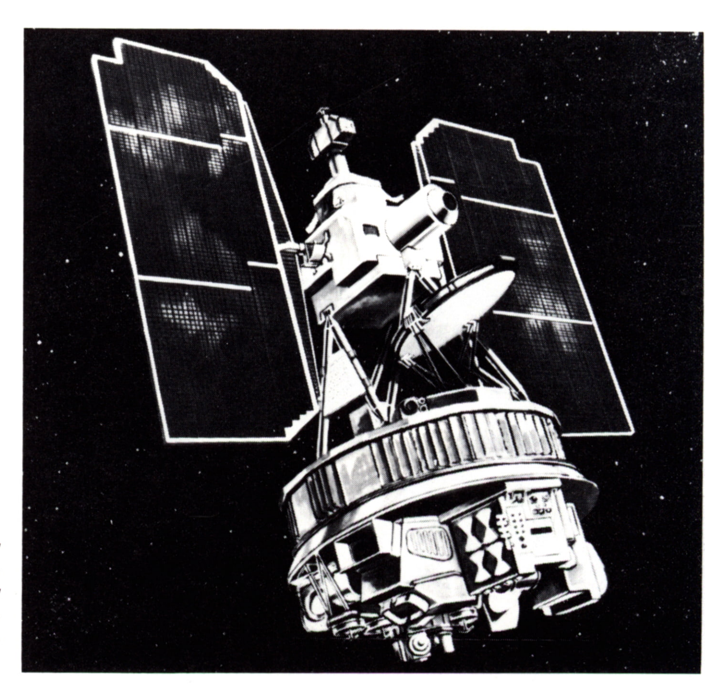
Sistema de transporte de la lanzadera espacial de un punto de la Tierra a otro.

Ruidos y absorción atmosféricos

El ruido original de la atmósfera depende de la frecuencia a la que se trabaje y de la localización geográfica de la antena. En las zonas tropicales es mayor que en las latitudes elevadas. Se debe principalmente a descargas eléctricas y, en general, su intensidad varía en relación inversamente proporcional a la frecuencia, siendo despreciable para las frecuencias inferiores a 100 MHz.

El oxígeno y el vapor de agua presentes en la atmósfera producen absorción de las ondas radioeléctricas y, como están a cierta temperatura, radian ruido hacia la antena.

En resumen, las comunicaciones vía satélite no son nada «apacibles» y dependen en gran medida de condiciones externas altamente inestables, pero aun así son las que fijarán el futuro de la Humanidad.

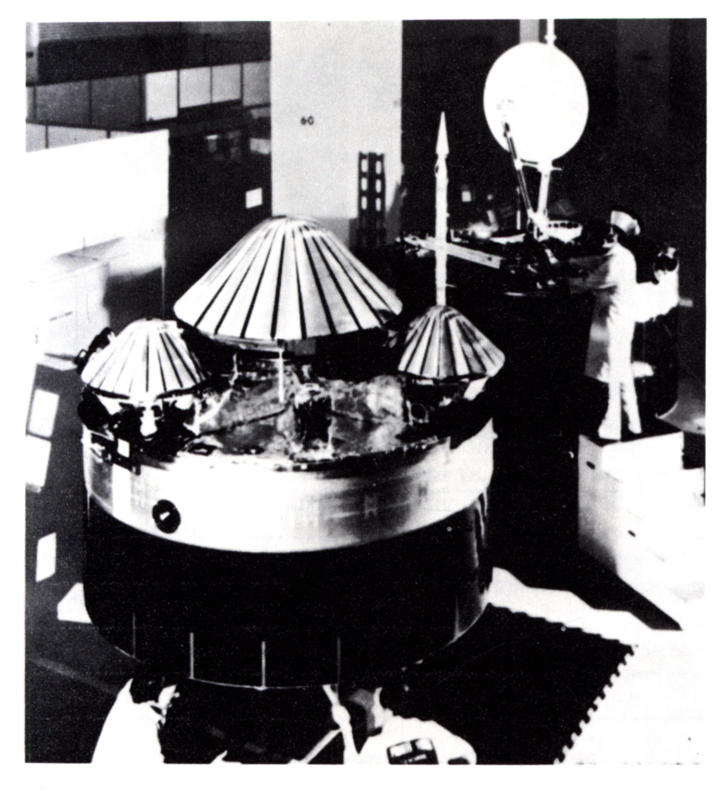


Satélite desplegado a pleno rendimiento en el espacio exterior. En este caso se trata del NIMBUS-G, lanzado para estudiar la atmósfera y los océanos.

Tabla de frecuencias (GHz) y su utilización

Banda de frecuencias (GHz)	*Servicio*
1,700-1,710	Investigación del espacio: telemetría y seguimiento (compartido).
1,770-1,790	Satélites meteorológicos (compartido).
2,290-2,300	Investigación espacial: telemetría y seguimiento de las profundidades del espacio.
2,690-2,700	Radioastronomía (exclusivo).
3,400-4,200	Satélites de comunicación (de satélites a tierra) compartido).
4,400-4,700	Satélites de comunicación (de satélites a tierra) (compartido).
4,990-5,000	Radioastronomía.
5,250-5,255	Investigación espacial.
5,670-5,725	Investigación espacial en las profundidades del espacio (compartido).

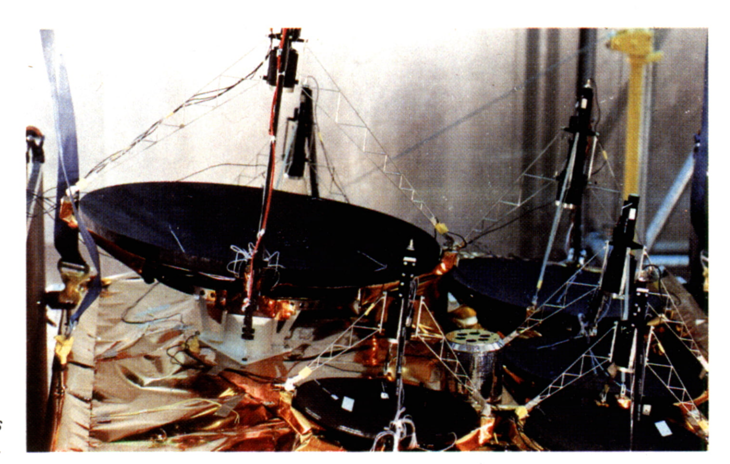
5,725-5,850	Satélites de comunicación.
5,850-5,925	Satélites de comunicaciones.
5,925-6,425	Satélites de comunicaciones.
7,250-7,300	Satélites de comunicaciones (de satélites a tierra) (exclusivo).
7,300-7,750	Satélites de comunicaciones.
7,900-7,975	Satélites de comunicaciones (de Tierra a satélite) (compartido).
7,975-8,025	Satélites de comunicaciones (de Tierra a satélite) (exclusivo).
8,025-8,400	Satélites de comunicaciones (de Tierra a satélite) (compartido).
8,400-8,500	Investigación espacial.
9,800-10,000	Radiolocalización.
11,700-12,500	Radiodifusión y TV vía satélite.



Venus también ha sido objeto de estudio por parte de los norteamericanos con satélites como este Pioneer.

Nombre	*Fecha de lanzamiento*	*n.º*	*Frecuencia (GHz)*	*Masa (kg)*	*Orbita (km)*	*Capacidad equivalente*
Telstar I	7/62	I	6/4	80	950/5650	600
Relay I	12/62	I	1,7/4	80	1300/7500	600
Telstar II	5/63	I	6/4	80	1000/11000	600
Syncom II	7/63	II	7,4/1,8	40	casi estacionario	300
Relay II	1/64	I	1,7/4	80	2100/7500	600
Syncom III	8/64	II	7,4/1,8	40	estacionario	300

Tabla 1. Satélites experimentales para uso civil.



Plataforma para las antenas del OTS.

	ECHO I	*ECHO II*	*Pageos I*
Fecha de lanzamiento	12-8-60	25-1-64	24-6-66
Diámetro (m)	30	40	30
Masa (kg)	60	250	56
Altitud inicial (km)	1600	1150	4200
Esperanza de vida (años)	7	—	—

Tabla 2. Satélites pasivos.

TELEVISION VIA SATELITE. GENERALIDADES

Como ya se ha visto, el mundo está cada día más rodeado de satélites de telecomunicación. Redes invisibles de microondas enlazan entre sí miles de puntos de la Tierra en cada momento.

Pero la recepción de esas señales está reservada a costosas estaciones profesionales que dependen de los organismos nacionales e internacionales de telecomunicaciones.

Sistemas O: operacional E: experimental	*Fecha de lanzamiento*	*N.º de satélites lanzados*	*Masa util del satélite (kg)*	*Cobertura*	*Potencial útil del satélite*	*Potencia (W)*	*(dBW)*	*Frecuencias (MHz) — ascendentes —descendentes*
I.D.C.S.S. o D.C.S.S.-I (0)	1966 1968	34	45 (TITAN III-C)	global	40	3	8,5	7975-8025 7250-7300
SKYNET I (O) y OTAN I (O)	1969-70 1970-71	2 2	130 (THOR-DELTA) DSV-3L	global	—	2 × 3	19	7975-8025 7250-7300
LES-5 (E)	1967	1	120 (TITAN III-C)	global	—	30	17	255,1 228,2
LES-6 (E)	1968	1	180 (TITAN III-C)	global	—	120	29,5	302,7 249,1
TASCAT I (E)	1969	1	800 (TITAN III-C)	global	100	100	38 33	305,7 249,6
						16	31	7982,5 7257,5
D.C.S.S. II	1972-75	4	500 (TITAN III-C)		520		28 43	7900-8400 7250-7750

Tabla 3. Satélites militares.

El paso siguiente en la evolución tecnológica consiste en la teledifusión directa. En realidad, para conseguir la teledifusión directa basta con aumentar suficientemente la potencia de los reemisores situados a bordo de los satélites, a fin de permitir que los particulares puedan recibir dichas señales a través de instalaciones individuales o colectivas de un costo asequible.

Un primer paso en esa dirección son los diversos planes de los países europeos para llevar a la práctica la televisión vía satélite.

Satélites de telecomunicaciones y satélites de radiodifusión

Normalmente se confunden ambos tipos de satélites,

cuando ambos tienen unas características diferentes bien definidas. Los satélites de telecomunicaciones, en general, enlazan un número limitado de estaciones terrestres entre sí, para lo cual estas estaciones tienen que poseer antenas parabólicas de gran tamaño, pero intentan cubrir una zona cuanto más amplia mejor. Los de teledifusión actuarán sobre zonas limitadas del planeta, y las antenas necesarias para su recepción serán, relativamente, de pequeño tamaño. Mientras que los primeros permiten enlaces bidireccionales, los

Lanzamientos	INTELSAT-I	INTELSAT-II	INTELSAT-III	INTELSAT-IV
Satélites fabricados (o previstos) en servicio al 31-12-70	6 abril 1965 («Early Bird») 2 1 (1)	26 octubre 1966 (E) 11 enero 1967 27 marzo 1967 27 septiembre 1967 5 3	19 septiembre 1968 (E) 29 diciembre 1968 (E) 6 febrero 1969 21 febrero 1969 25 julio 1969 (E) 14 enero 1970 22 abril 1970 23 julio 1970 8 4	26-1-1971-F2- Atlántico 19-12-1971-F3 Atlántico 22-1-1972-F4- Pacífico 13-6-1972-Indico 1973-F6 1973-F7 1974-F8 F-1 no será lanzado
Duración de las vías demandas	1 1/2	3	5	7
Masa en órbita (kg)	38,5	87	146	709
Dimensiones:				
diámetro (cm)	71	142	142	237
altura (cm)	59	66	102 (198)	282 (533)
Potencia instalada (principio y fin de vía) (Wats)	45/33	85/75	160/125	800/600
Abertura de las redes de las antenas	11 × 360	12 × 360	20 × 20:	17 × 17 4,5 × 4,5 y 4,5 × 4,5
P.I.R.E.* (Wats)	2 × 11	1 × 35	2 × 200	2300 × 2
Potencia (Wats)	6	18	11	6
Banda pasante (MHz)	25	130	225	35
Número	2	1	2	312
Capacidad telefónica (circuitos)	240	240	1200	6000
Acceso múltiple	no	sí	sí	sí
Televisión (canal)	1	1	4	12

*P.I.R.E. = Potencia isótropa equivalente radiada.

Tabla 4. Satélites Intelsat.

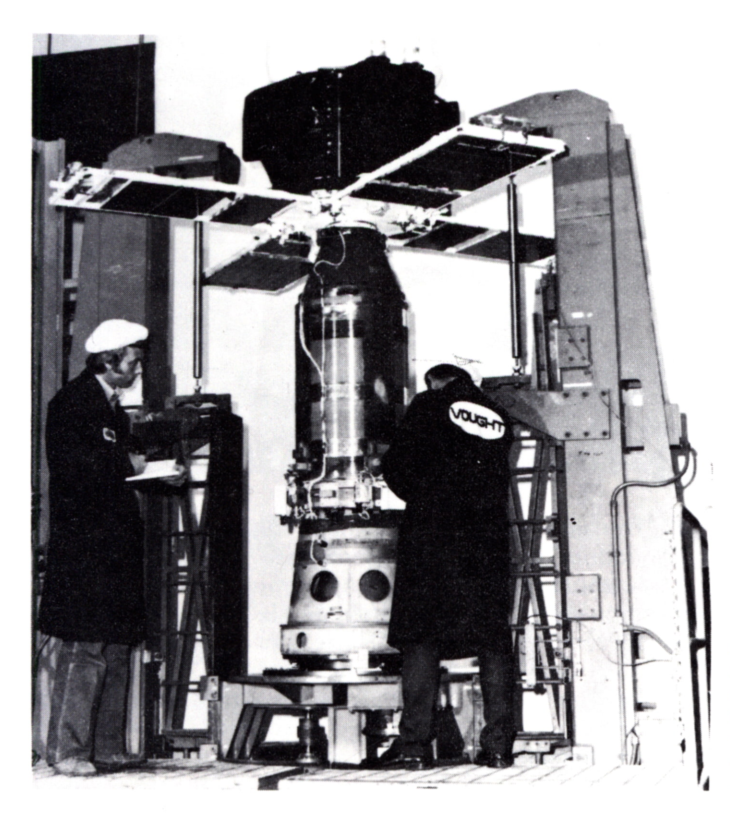
segundos serán exclusivamente unilaterales. El aficionado podrá tan sólo recibir señales del satélite. Normalmente los primeros disponen siempre de un satélite de socorro, ya que la continuidad de los enlaces de comunicaciones es imperativo que se mantenga, mientras que en el segundo caso se deberá disponer de un segundo satélite de reserva en tierra y ser lanzado en caso de avería del anterior. En los primeros las normas y el emplazamiento del satélite pueden cambiar, mientras que en los segundos ambas cosas han

sido perfectamente definidas por la CAMTS (Conferencia Administrativa Mundial de las Telecomunicaciones Espaciales), que acabó de ser planificada por la CAMRS (Conferencia Administrativa Mundial de la Radiodifusión por Satélite) celebrada en Ginebra en 1977.

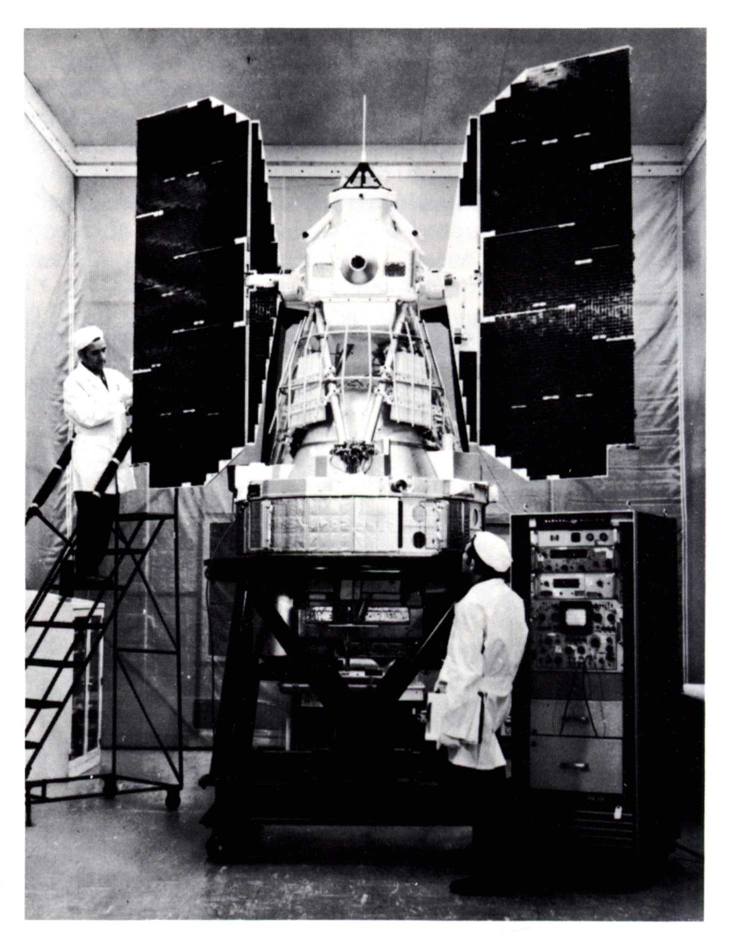
Características radioeléctricas de la radiodifusión por vía satélite

Las características radioeléctricas que fijó la CAMRS-77 para aplicación al servicio de radiodifusión por satélite en la banda de 12 GHz, son esencialmente las siguientes:

1) Exigencia de una recepción individual, que a su vez permite también la recepción comunitaria.



No sólo EE.UU. y la URSS se dedican a construir satélites. En la fotografía se ve a dos científicos dando los últimos toques al satélite inglés UK-6.



Una de las misiones que llevan a cabo los satélites es la búsqueda de nuevos recursos sobre la Tierra. Este es el caso de este satélite con extraña forma de «mariposa», el LANDSAT-C.

2) Transmisión con modulación de frecuencia y una subportadora de sonido en banda base.

3) Anchura de banda de cada emisión en 27 MHz y separación de canales contiguos de 19,8 MHz.

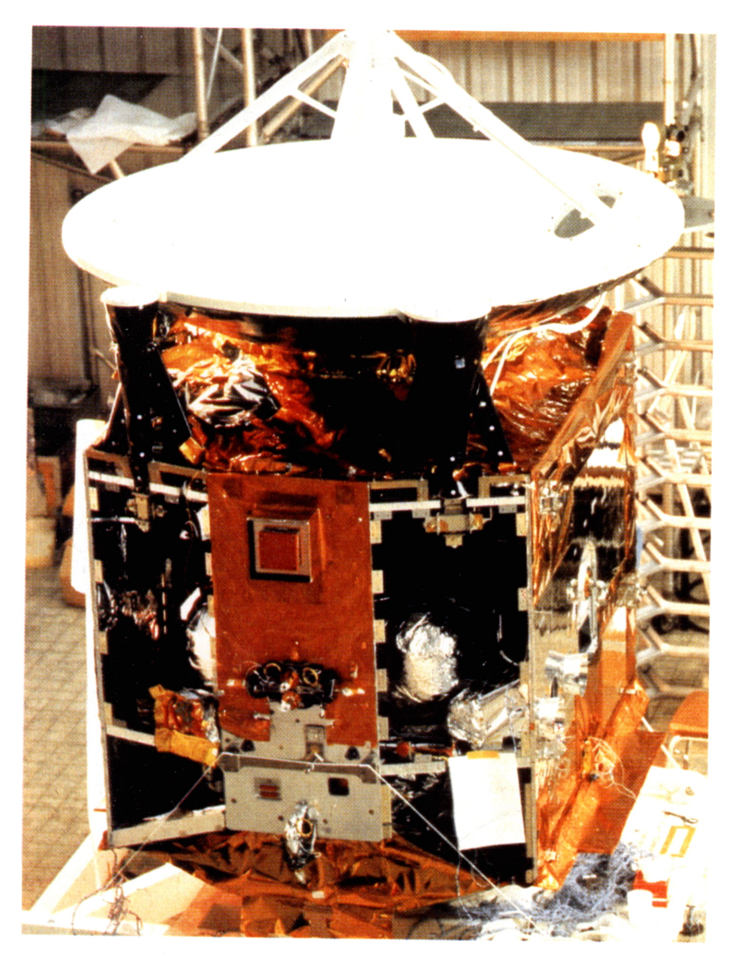
4) Utilización en los 800 MHz de la banda 11,7-12,5 GHz de un total de 40 canales para la Región I.

5) Antenas receptoras de tierra, de tipo parabólico con diámetro comprendido entre 0,90 y 1,8 m, lo que equivale a indicar que tendrán un ángulo de radiación comprendido entre 2.º y 1.º.

6) Antenas de emisión a bordo del satélite con directividad, dependiendo de la zona a cubrir, comprendida entre 0,6 y 2,2°, lo que hace variable la dimensión física de las mismas.

7) La polarización de estas antenas debe ser circular, fijándose el sentido directo como el sentido de las agujas de un reloj.

8) Arco de órbita en el que se pueden situar los satélites de radiodifusión para las Regiones I y III (Europa, Africa y Asia) comprendido entre 37° O y 146° E, siendo para la Región I

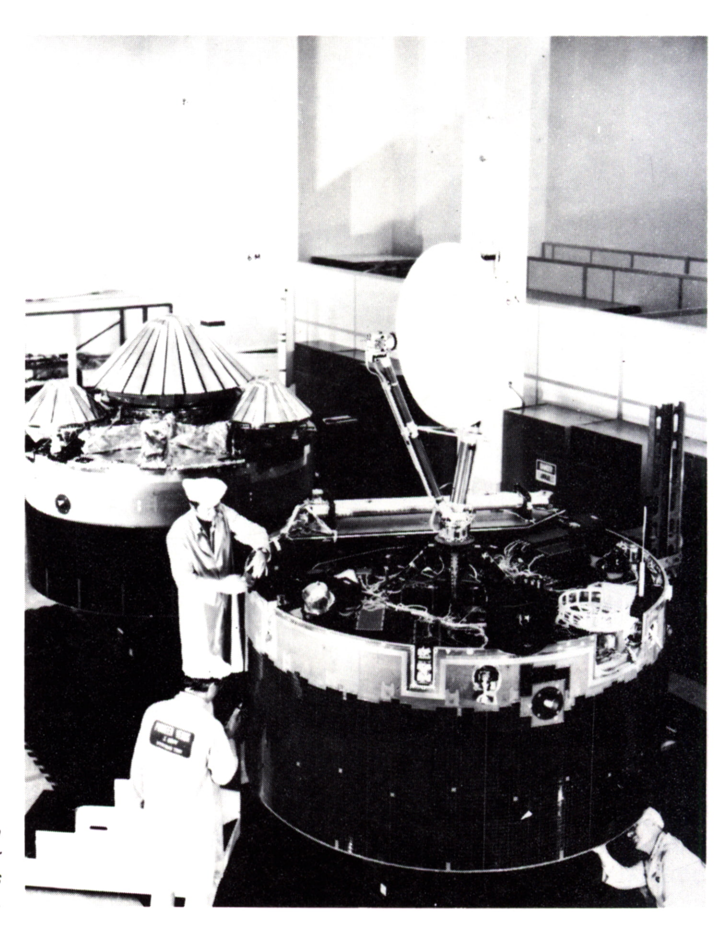


Unidad de vuelo de satélite MARECS-A durante las pruebas.

(comprende a Europa) entre 37° O y 5° E. La separación entre dos satélites vecinos en la órbita está en 6°, lo que define para la Región I ocho posiciones orbitales distintas.

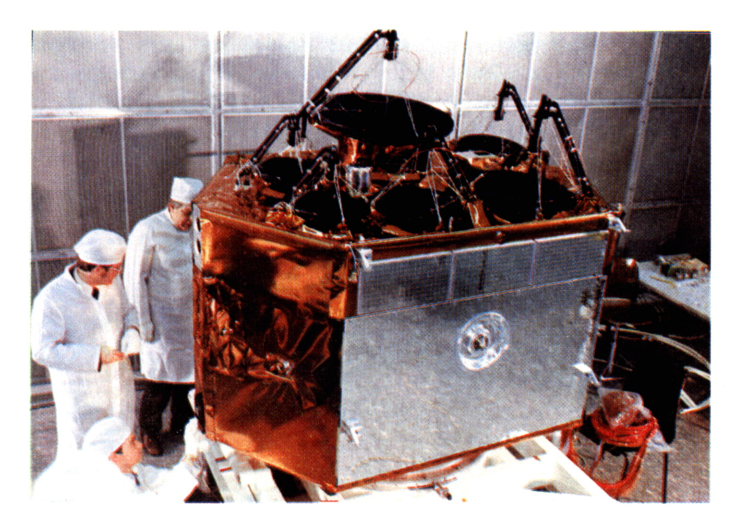
9) Utilización por la mayor parte de los países (incluido España) de un total de 5 canales que permitan la transmisión por cada uno de ellos de una señal de imagen y su sonido asociado.

10) El emplazamiento de los cinco canales va dispuesto en una parte del espectro con anchura de banda inferior a 400 MHz y con separación constante entre los canales.



Orbitador del Pioneer en el momento de ser ensamblado por los científicos.

11) Instalaciones de recepción que sean suficientemente económicas para que los telespectadores puedan utilizar los receptores existentes concebidos para emisiones desde tierra, a los cuales se les añadiría simplemente un conversor de 12 GHz en la banda de UHF y se haría precisa la instalación de una antena especial para 12 GHz, mencionada anteriormente.



Grupo de científicos ensamblando la protección térmica para el satélite OTS.

12) La antena de emisión proyecta un haz, cuya sección del plano tangente geográfico del país es una elipse. La relación entre las potencias radiadas hacia el límite de la zona de cobertura y la radiada en el eje principal del haz es de 3 dB en la mayor parte de los casos.

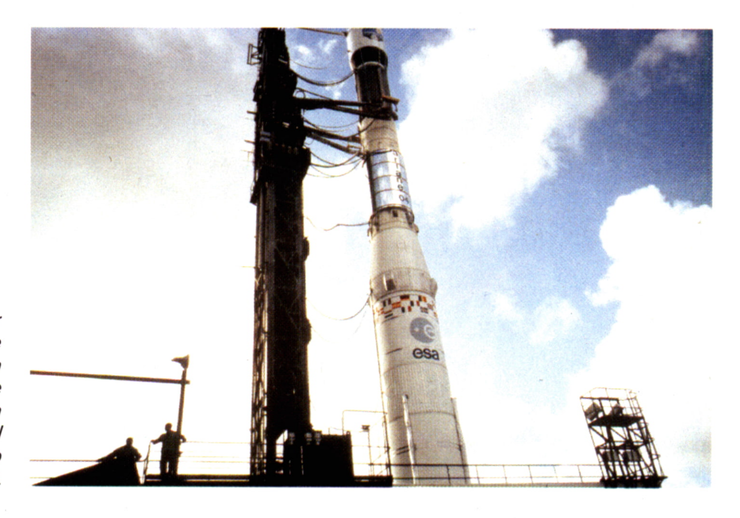
13) La densidad del flujo en el límite de la zona de cobertura para la recepción individual se fijó en -103 dB W/m^2 (equivalente a un campo eléctrico de 140 μV/m) y para la recepción comunitaria en -111 dB W/m^2, siempre para el 99 % del tiempo del mes más desfavorable.

14) La relación portadora/ruido (C/N) en la recepción, se fijó en 14 dB durante el mismo porcentaje de tiempo.

15) Estos últimos datos permiten el cálculo de la potencia a emitir por cada satélite para cada canal, que viene oscilando entre valores de 61 a 68 dBW.

CARACTERISTICAS DE LOS SATELITES DE RADIODIFUSION

Los satélites europeos que se utilizarán para la difusión de la televisión vía satélite serán lanzados por el cohete ARIANE y desarrollados por la Agencia Espacial Europea. Evidentemente, una de las características necesarias que deberán cumplir estos satélites es que sean geoestacionarios, ya que de lo contrario las antenas de los televidentes deberían disponer de un sistema de seguimiento para no perderlo y evitar perder la imagen. Esto corresponde a una órbita comprendida entre 42.158 y 35.870 km, con una longitud total de la órbita de 264.886 km.



El primer paso para poner en órbita satélites consiste en disponer de un buen cohete lanzador. A este fin dirigió sus esfuerzos la ESA (Agencia Espacial Europea), consiguiendo desarrollar el ARIANE.

Aunque la órbita geoestacionaria teórica está calculada en 35.870 km alrededor del ecuador, a causa de los problemas de la atracción de la Luna y del Sol, ésta es en la práctica de 35.786 km de altura sobre el ecuador.

Las derivas ocasionadas por perturbaciones gravitacionales se corrigen mediante cohetes de a bordo. Para que la vida del satélite fuera ilimitada sería necesario disponer a bordo de una cantidad ilimitada de propargol (carburante utilizado para estos motores). Como esto no es posible, es el carburante lo que determina la vida prevista del satélite. Para

el TVSAT y del TDF1 (ambos europeos) la vida operativa prevista es de unos siete años.

Existe un problema en relación con la órbita geoestacionaria: es la más utilizada, ya en la actualidad existen 300 satélites civiles y militares en esa órbita.

Para evitar la congestión de esta órbita, la CAMR la ha dividido en tres segmentos, el primero de los cuales pertenece a los satélites de Europa y Africa, el segundo a los de los países americanos, y el tercero está asignado a los satélites de radiodifusión de Asia, Oceanía y Australia.

De todas formas, ya en 1976 se produjo el intento por parte de los países africanos y americanos, por los cuales pasa el ecuador, de declarar su soberanía sobre dicha órbita estacionaria. Esto demuestra el interés tanto estratégico como económico que despierta.

El elemento indispensable para que todos estos proyectos lleguen a ser realidad es el Sol. El Sol es el encargado de suministrar la energía a los paneles solares de todos estos satélites. Para los casos del TDF1 y el TVSAT dispondrán de sistemas de direccionamiento de los paneles solares hacia el Sol. Pero aun así se producirán eclipses de una hora de duración, el primero tendrá lugar a las 00 h 40 minutos y el último terminará a las 01 h 50 minutos. La cadencia será de 52 veces por año y, aunque el servicio de energía se detendrá durante los eclipses, no ocurrirá lo mismo con la emisión, pues la alimentación conmutará al sistema de baterías de a bordo.

LA RADIODIFUSION POR SATELITE APLICADA A ESPAÑA

La CAMRS, organizada por la U.I.T. y celebrada en Ginebra en enero de 1977, planificó y reglamentó la banda de frecuencias de 11,7 a 12,5 GHz en la Región I y 11,7 a 12,2 GHz en las Regiones II y III.

El resultado más importante de esta conferencia fue la consecución de un plan para las regiones I y III, en el cual se atribuyeron 5 canales por zona de servicio en la Región I y 4 a los países de la Región III.

La adjudicación que en el plan afecta a las solicitudes de la Administración Española pueden extractarse como sigue:

1) Para la cobertura de la zona de servicio de España

(territorio peninsular, Islas Baleares y ciudades de Ceuta y Melilla) han sido asignados los canales 21, 23, 31, 35 y 39.

2) Para la cobertura de la zona de servicio de las islas del archipiélago canario se han asignado igualmente los canales 23, 27, 35 y 39 y en idéntica polarización que para la cobertura de la España peninsular. Esta condición fue establecida así a requerimiento de nuestra Administración.

3) La posición orbital adjudicada a España y CNR (islas Canarias) es de 31° O coincidentes con las de Gran Bretaña, Irlanda, Portugal, Azores e Islandia.

4) Para la cobertura de España peninsular la potencia requerida es de 234 W con una antena de ganancia máxima 40,5 dB.

5) La potencia de equipo necesario para la cobertura de CNR en el canal más elevado es de 69 W, con una ganancia máxima de antena de 44,6 dB.

6) Ambos haces de cobertura son elípticos, de $2{,}1^{\circ} \times 1{,}14^{\circ}$ para la cobertura de la España peninsular y de $1{,}54^{\circ} \times 0{,}6^{\circ}$ para los de CNR.

7) Tanto en la cobertura del territorio peninsular e islas como en la del archipiélago canario, la totalidad de los puntos queda cubierta prácticamente con un nivel de densidad de flujo superior o igual a -103 dB W/m^2.

EXPERIENCIAS EUROPEAS

Desde 1972 la comunidad Europea de Radiodifusión ha venido estudiando el tema de la radiodifusión por vía satélite.

Ya están en órbita y en funcionamiento el OTS, cuya frecuencia de trabajo es de 11,7 GHz. Cada día retransmite un programa de una hora en lengua francesa e inglesa. Con él se están realizando medidas de propagación en la gama de 12 GHz. El SYMPHONIE es capaz de distribuir dos canales de televisión, y trabaja en la gama de 4 GHz.

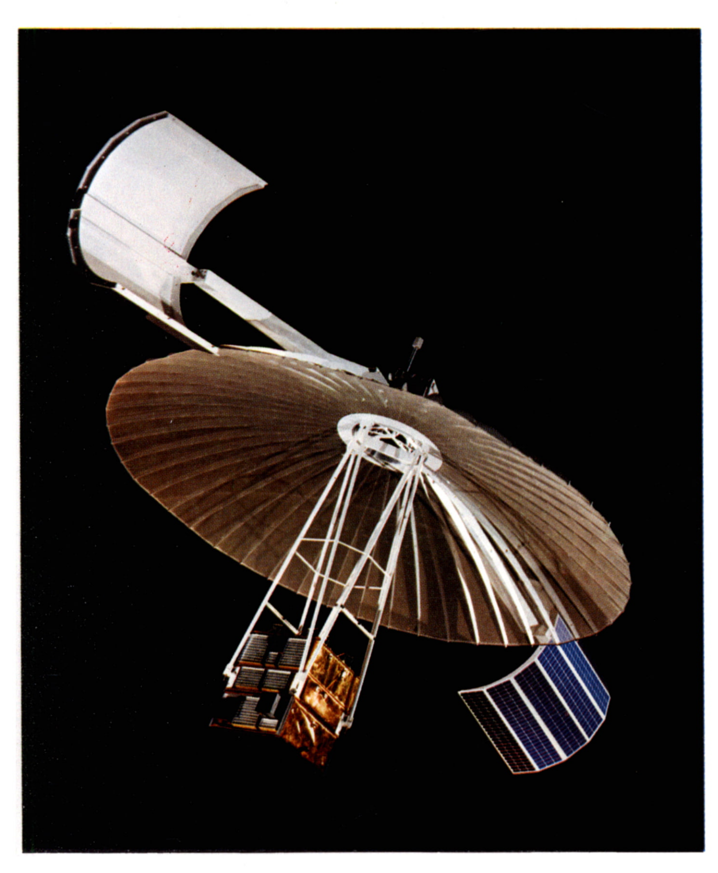
En lengua rusa existen varios satélites: la serie HORIZON, LOUTCH, ESTATIONAR y la serie de los ECRAN, que cubren toda la Unión Soviética, pudiendo ser recibidos en toda Europa con antenas lo suficientemente grandes. Todos ellos trabajan en la gama de frecuencias comprendida entre 0,7 y 4 GHz.

Finalmente el ATS 6, llamado también el satélite indio, ya

que está dedicado a retransmitir programas educativos para la televisión doméstica india. Trabaja en la gama de 870 MHz y su modulación es FM. La calidad de su recepción en Europa es bastante aceptable.

La UER y el CFT han venido elaborando un proyecto conjunto para lanzar una plataforma pesada capaz de soportar satélites de telecomunicaciones mediante un cohete ARIANE.

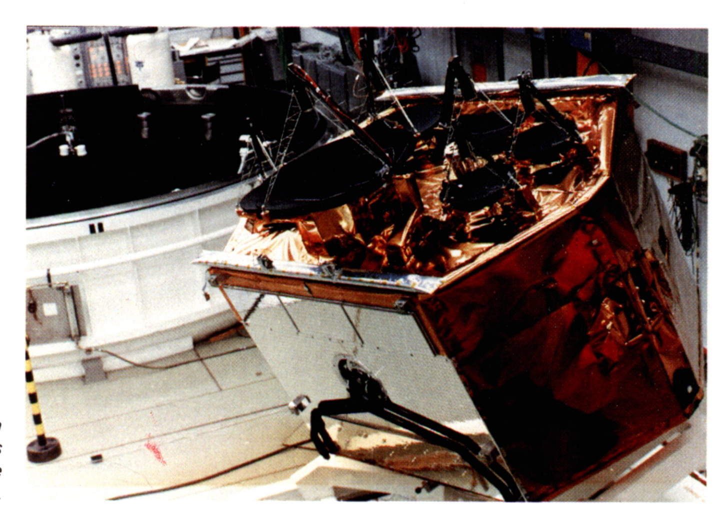
En resumen, el proyecto pretende desarrollar el cohete lanzador y la plataforma. Una vez a punto el sistema de puesta en órbita, se llevarían a cabo ensayos sobre nuevos equipos de radiodifusión. Se daría, además, la posibilidad a



El OTS-6 con todos sus sistemas desplegados.

las televisiones de poder experimentar en tiempo compartido, así como a la difusión en FM. La cobertura prevista para este sistema sería, además de Europa, el norte de Africa y zonas del Oriente Medio.

El desarrollo del nuevo propulsor ARIANE IV motivó a la UER a preparar el lanzamiento del satélite denominado L-SAT para 1985, momento en que fue totalmente operativo. En él los experimentos seguirán las recomendaciones del CAMRS.



Vista conjunta del sistema y de la plataforma para las antenas de comunicaciones del OTS.

Además merced al proyecto franco-alemán se puso en órbita, durante 1984, un satélite geoestacionario con capacidad para tres canales de TV por país y sonido en cobertura individual.

No hay que olvidar el satélite italiano SIRIO, lanzado en el 77, que está permitiendo experiencias de propagación en el manejo de señales de televisión en la gama de 12 GHz.

El problema de la potencia en la radiodifusión por satélite fue abordado en Europa por la CERS/ESRO, que creó un grupo consultivo para la radiodifusión por satélite en Europa. Desde 1973 se está trabajando en este problema específico ya que la importancia de los satélites para comunicaciones va aumentando incesantemente.

LOS SISTEMAS SOVIETICOS

Las características geográficas de la Unión Soviética hacían inviable el desarrollo normal de una red de radioenlaces de microondas como las que existen en España.

La primera aproximación a la solución se dio en 1967, cuando la URRS lanzó al espacio un satélite al espacio del tipo «Molnya», que llevaba incorporado el sistema ORBITA de difusión de TV vía satélite.

El sistema ORBITA estaba formado por un centro productor de programas y una gran antena parabólica asociada al mismo. Este transmitía la señal de televisión al satélite, el cual a su vez la reemitía a los subcentros regionales. Desde éstos se enviaba a los televidentes por medio de repetidores de microondas convencionales.

El primer ECRAN con un satélite geoestacionario fue lanzado en octubre de 1976, fecha en la cual ya existían unos 60 reemisores dispuestos en tierra.

La gran ventaja del sistema ECRAN estriba en que, al aumentar el flujo electromagnético sobre la tierra, las estaciones terrenas se simplifican considerablemente.

El sistema Ecran consiste en un centro emisor en Moscú capaz de dar 5 kW con una antena de 12 metros de diámetro, envía una señal con portadora a 6,4 GHz que es modulada en frecuencia. El satélite retransmite esta señal, pero a 0,714 GHz amplificando la potencia hasta 200 W.

La antena del satélite está formada por un conjunto de varias antenas helicoidales que radian en fase y que polarizan la señal de forma circular.

Resulta muy interesante conocer el rápido avance experimentado en este campo, puesto que es evidente la superación tecnológica entre un tipo de satélite y el modelo que le ha seguido.

El resumen que sigue contiene los hitos más importantes relacionados con el lanzamiento de satélites al espacio, la denominación de cada uno de ellos y la misión para la que estaban destinados.

RESUMEN HISTORICO

El 4 de octubre de 1957 a la Unión Soviética lanzó al espacio el primer satélite, el Sputnik I. Transmitió señales

radioeléctricas que fueron oídas en gran parte del mundo.

— Estados Unidos puso en órbita su primer satélite, el EXPLORER I, el 31 de enero de 1958. Su lanzamiento dió lugar al descubrimiento del cinturón de Van Allen.

— En 1959 se lanzó el PIONEER I, que permitió recibir datos de la Luna.

En ese mismo año, los norteamericanos colocaron en órbita el primer satélite de comunicaciones. Fue el SCORE. Se utilizó para la retransmisión de mensajes hasta 5.000 kms de distancia, y difundió al mundo un mensaje de Navidad grabado en cinta por el presidente Eisenhower de los Estados Unidos.

— El 1 de abril de 1960, los Estados Unidos lanzaron el TIROS I, satélite meteorológico que transmitió gran cantidad de fotografías.

El 12 de agosto de 1960 la NASA lanzó el ECHO I, primer satélite pasivo de comunicación.

En ese mismo año se lanzó el COURIER, primer satélite reflector activo. Efectuó la retransmisión de mensajes de teletipo en alta velocidad, voz y facsímil.

— En 1961 el RANGER I hizo sonedeos en el espacio lejano.

— El 10 de julio de 1962 la NASA lanzó el TELSTAR I, concebido por la Bell Telephone System.

Se transmitieron por él conversaciones telefónicas, imágenes de televisión y telefotografía por microondas.

— El 18 de septiembre de 1962 fue lanzado el TIROS VI, satélite meteorológico que llevaba dos cámaras de televisión.

— El 1 de noviembre de 1962 la Unión Soviética lanzó la estación interplanetaria MARS I en dirección a Marte.

— El 13 de diciembre de 1962 se lanzó el RELAY I, semejante en los principios fundamentales al Telstar. Se utilizó para transmisiones de televisión entre Europa, Sudamérica, Japón y EE.UU.

— El 14 de febrero de 1963 se lanzó el SYNCOM I, primer satélite puesto en órbita síncrona, pero dejó de transmitir veinte segundos después de poner en marcha su motor de apogeo.

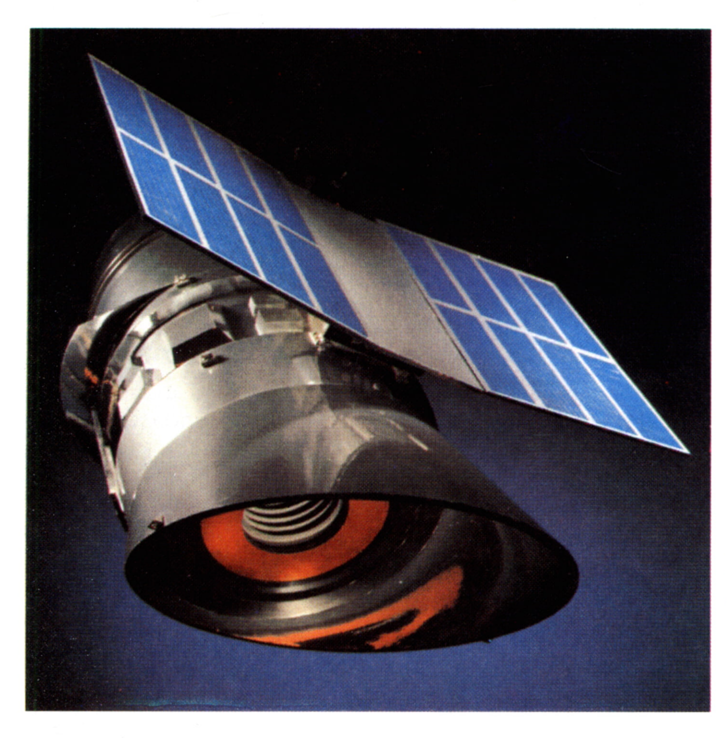
— El 7 de mayo de ese mismo año se lanzó el TELSTAR II. Funcionó satisfactoriamente hasta el 16 de julio de 1963, en que una avería no identificada interrumpió su funcionamiento. Volvió a funcionar el 12 de agosto de ese mismo año.

Realizó experimentos sobre radiaciones y daños producidos por partículas.

— El 26 de julio de 1963 se lanzó el SYNCOM II, que efectuó transmisiones de telefonía, teleimpresor y facsímil.

— El 21 de diciembre de 1963 se lanzó al espacio el TIROS VIII, que realizó diversas observaciones meteorológicas.

— El 25 de enero de 1964 se lanzó el ECHO II. Con él se realizaron experimentos científicos EE.UU., Gran Bretaña y la Unión Soviética.

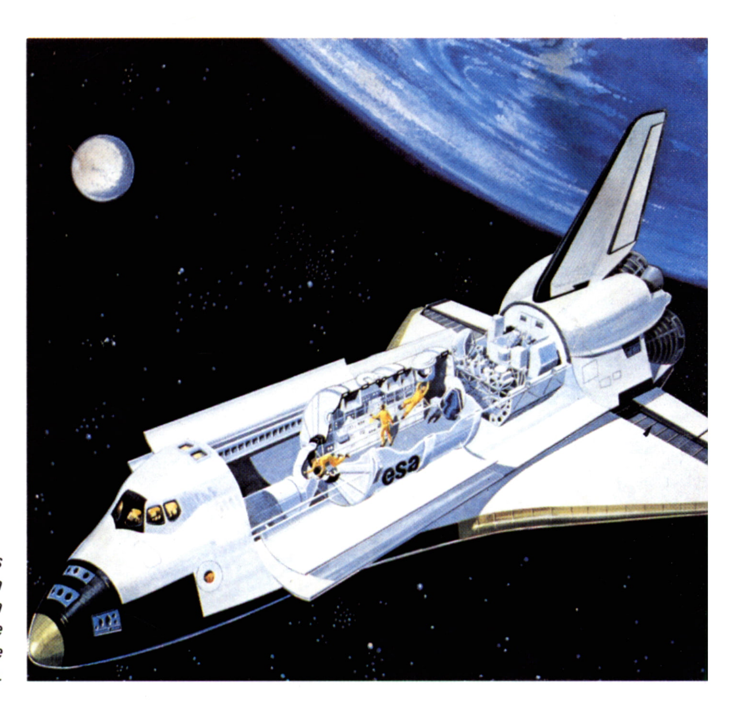


Este satélite científico alemán está preparado para explorar las fuentes de infrarrojos del espacio. Puede observarse la gran extensión de los paneles solares. (Cortesía: Philips).

— El 19 de agosto de 1964 se lanzó el SYNCOM III, que sirvió para la transmisión por televisión de los juegos olímpicos del Japón.

Ese mismo año se lanzó el RELAY II, que aumentó la capacidad de los canales de transmisión de datos.

— En 1965 la Unión Soviética lanzó los satélites de la serie MOLNYA para transmisiín de señales telegráficas, telefónica y de televisión en color. También permitieron tomar datos meteorológicos.



Las lanzaderas espaciales son una alternativa válida al método seguido para la puesta en órbita de satélites y recuperación de los mismos.

Ese año los EE.UU., empezaron los lanzamientos de la serie INTELSAT II. INTELSAT (International Telecomunications Satellites). El primero de ellos fue denominado EARLY BIRD (INTELSAT I). Se lanzó en abril y fue colocado en una órbita geoestacionaria sobre el Océano Atlántico. Enlazó América con Europa mediante una red de 250 circuitos telefónicos, y permitió la transmisión de señales de televisión a través del Atlántico.

— En octubre de 1966 se iniciaron los lanzamientos de los satélites INTELSAT II. El primero no entró en órbita por un fallo en el motor de apogeo. El segundo entró en órbita sobre el Oceano Pacífico, el tercero lo hizo sobre el Atlántico

y el cuarto también sobre el Pacífico. Se proyectaron con una capacidad de 240 canales.

— En 1968 comenzaron los lanzamientos de los INTELSAT III. Tienen una capacidad cinco veces superior a los anteriores. Se alimentan con energía solar y tienen una potencia de 130 W cada uno, pudiendo cursar a la vez 1.200 conversaciones telefónicas bidireccionales o cuatro canales de televisión. Parte del ancho de banda de estos satélites se ha asignado a televisión y el resto a telegrafía, telefonía, facsímil y datos.

— A finales de 1969 ya había ocho satélites INTELSAT III.

— Durante 1971 se puso en órbita el satélite INTELSAT IV. Posee baterías solares que proporcionan 500 W. Tiene doce transceptores para abarcar la Tierra que puede



El estudio de las radiaciones infrarrojas en el espacio se lleva a cabo por diferentes países incluso cooperando entre ellos en el plano científico. Montaje de un satélite por la Hollandse Signaal. (Cortesía: Philips).

conmutar en orbita a fin de abarcar la zona geográfica deseada.

Puede transmitir 3.600 circuitos si todos los transceptores se usan para abarcar el globo, pero concentrando al máximo los transceptores en una zona determinada. El número de circuitos puede llegar hasta 9.000.

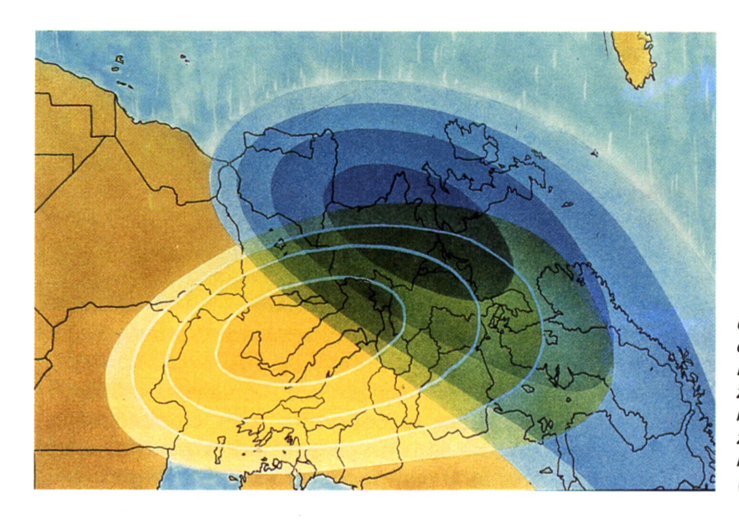
PROYECTOS EUROPEOS DE TV DIRECTA POR SATELITE

Antes de considerar las peculiaridades del sistema de satélites adecuado para dar servicio a España, conviene situar este proyecto dentro del contexto de otros proyectos similares que existen en Europa.

Los satélites alemán y francés, cada uno de ellos con tres canales de televisión son los primeros satélites claramente incluidos en la categoría de radiodifusión directa y cuyas características se ajustan en la mayor medida posible a las establecidas en la Conferencia de radioodifusión por satélite que se celebró en Ginebra en 1977. Además, en el año 1986, está prevista la entrada en servicio del satélite europeo LSAT y del británica UNISAT. Uno de los dos canales del LSAT dará servicio a Italia, y el otro se utilizará para la difusión de programas europeos y, alternativamente, para la cobertura de distintas partes de Europa y de las Islas Canarias, para realizar experiencias nacionales en forma secuencial. El satélite británico, que se utilizará también para otros fines, dispondrá de dos canales de televisión que explotará la BBC para la difusión de un programa especia y de otro que los usuarios sólo podrán recibir mediante pagos. Suecia proyecta también el lanzamiento en 1986 de un satélite híbrido denominado Tele-X con aplicaciones de televisión directa. En EEuropa existen otros proyectos de satélite, en menor grado de desarrollo, para Luxemburgo, Suiza, Austria y los países escandinavos. La razón que generalmente se esgrime en Europa para justificar el establecimiento de un servicio de radiodifusión directa por satélite es la necesidad de aumentar el número de programas de televisión por un procedimiento rápido y económico. Incluso en Francia y en Gran Bretaña, que pronto van a tener libres sus redes nacionales en VHF, al suprimir respectivamente los servicios en 819 y en 405 líneas, se ha preferido la utilización de

satélites. Además, en Francia, Gran Bretaña y también en Alemania se ha tenido en cuenta, quizás de forma prioritaria, la conveniencia de potenciar a las industrias nacionales aeroespacial y de electrónica abriendo así importantes mercados.

El interés que los satélites de radiodifusión directa han despertado en España, y muy en particular en RTVE, se debe fundamentalmente a sus posibilidades de aumentar el número de programas nacionales y, además completar la cobertura de los que actualmente se emiten. Este último factor no ha sido decisorio en los proyectos de satélites de otros países europeos que tienen una cobertura de televisión prácticamente completa, pero en España la escasez de presupuestos y las dificultades de su geografía no han permitido todavía llegar por los medios clásicos a una cobertura satisfactoria, objetivo que puede lograrse, desde el momento de su entrada en servicio, con un sistema de satélites.



Un ejemplo de cobertura de las antenas del satélite L-SAT destinadas a la zona europea. La potencia recibida es máxima en las zonas donde el color está más subido de tono. (Cortesía: ESA).

CONFERENCIA DE GINEBRA

La Conferencia de Ginebra, anteriormente mencionada, estableció un plan para todos los países del mundo excepto los americanos.

En lo que respecta a Europa, la CAMR-77 reconoció el derecho de todos los países a disponer de su propio satélite y aceptó el inevitable desbordamiento de las coberturas nacionales en los países limítrofes. Se planificó y reglamentó la banda de frecuencias 11,7 a 12,5 GHz (800 MHz), con un total de 40 canales asignando a cada país cinco canales y una posición orbital entre 37°W y 5°E.

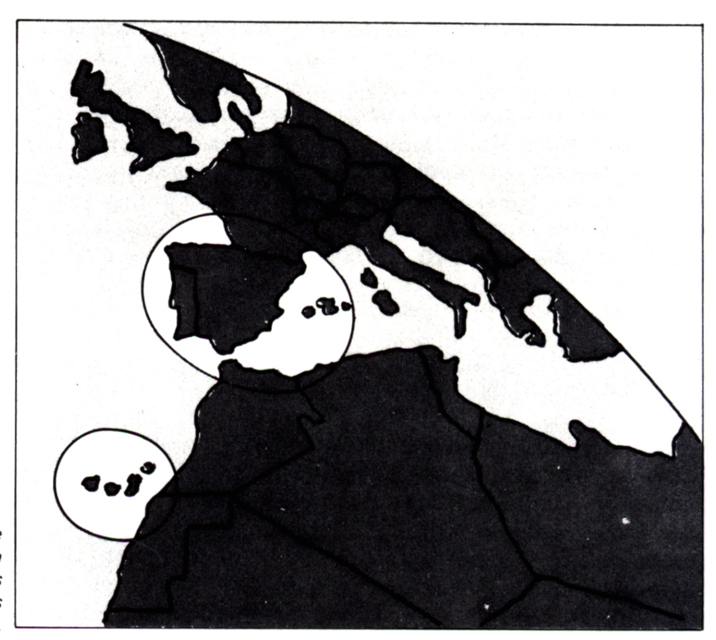


Figura 44. Cobertura de España, con un haz para la península Ibérica e Islas Baleares y otro para las Islas Canarias.

Según el Plan de Radiodifusión por Satélite de la CAMR-77, se podrá establecer la cobertura, con cinco canales, mediante dos haces de emisión para el territorio peninsular e Islas Baleares, y el otro para las Islas Canarias (figura 44). Sin embargo, dado el estado actual de la tecnología, conviene limitar a tres el número de canales en funcionamiento, tal como se ha hecho en los satélites francés y alemán.

En la tabla 5 figuran las características fundamentales del satélite español asignadas en la Conferencia para la cobertura de la Península y de las Islas Canarias.

	Península	*Canarias*
Posición orbital	31 °W	31 °W
Canales	23/27/31/35/39	23/27/31/35/39
Polarización	Levógira	Levógira
Haz de radiación	2,1° × 1,14°	1,54° × 0,6°
Ganancia antena	40,5 dBi	44,6 dBi
PIRE en el eje	64,2 dBW	63 dBW

Tabla 5. Características asignadas a España en el Plan de Ginebra en 1977.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

A finales de 1981 se dio a conocer un informe previo sobre el satélite español preparado por un grupo de expertos de RTVE, INTA y CTNE en el que se enumeraban las ventajas que ofrece un sistema de televisión directa por satélite en el caso de España. Las ventajas, alguna de las cuales ya se han mencionado, son las siguientes:

1) Aumento del número de programas de televisión nacionales. El satélite es el único medio que permite la difusión en todo el territorio de un tercer programa nacional de televisión.
2) Complemento de la cobertura de los dos programas existentes, si se transmiten simultáneamente por satélite y por las redes clásicas de difusión. El satélite proporciona una cobertura inmediata y prácticamente total del territorio español.
3) Mejora del servicio actual, alimentando los reemisores que reciben en precarias condiciones con las señales procedentes del satélite.
4) Los gastos de explotación del servicio de satélite son muy reducidos ya que se limitan a los correspondientes a la estación terrena de emisión y a la de telemando y telemedida.
5) La influencia de la duración de las emisiones en los gastos de explotación es insignificante y, por tanto, no suponen un obstáculo para la creación de nuevos servicios.
6) Los satélites ofrecen condiciones de funcionamiento estables en toda la zona de cobertura. Los programas del satélite español podrán recibirse en todo el territorio continental portugués en iguales condiciones que en España.

En cuanto a los inconvenientes, destaca en primer lugar la complejidad y precio de los equipos necesarios para recibir las señales procedentes de los satélites.

La televisión directa por satélite exige una inversión inicial muy importante, contrariamente a lo que ocurre con la televisión clásica cuyas instalaciones pueden realizarse en fases de acuerdo con los créditos disponibles.

Las redes terrestres están expuestas a numerosas averías de diverso origen (cuyas consecuencias se limitan a una zona concreta y que, con los equipos de reserva o las intervenciones técnicas, ocasionan, en general, interrupciones de breve duración. Por el contrario, la avería de un satélite afecta a todo el país y no puede repararse.

Debe también mencionarse la vulnerabilidad de todos los sistemas de satélite ante las emisiones radioeléctricas ajenas al sistema.

Por último hay que tener en cuenta que los satélites de radiodifusión directa no pueden dar servicio durante las 24 horas del día debido a los eclipses de sol que se producen del 1 de marzo al 11 de abril y del 2 de septiembre al 13 de octubre con una duración máxima de 73 minutos, dejando durante esos períodos en la oscuridad a los paneles solares del satélite. Si la posición del satélite coincide con la longitud geográfica del punto de recepción, los eclipses tienen lugar aproximadamente a las 12 de la noche, hora todavía de buena audiencia.

Para solucionar parcialmente este problema se han desplazado las posiciones orbitales unos 30° hacia el oeste con lo que el eclipse se produce unas dos horas más tarde. Pueden también instalarse baterías para suministrar energía durante los eclipses pero esta solución supone un gran aumento de peso del satélite.

TIPOS DE SERVICIO

La cobertura de España puede plantearse de tres modos distintos de acuerdo con el grado requerido de fiabilidad del servicio, factor que tiene una gran importancia en el costo. Pueden considerarse las siguientes modalidades:

a) Sistema experimental que consistiría en la colocación de un sólo satélite en órbita para la difusión de dos o tres canales de televisión.

b) Sistema preoperacional con la disponibilidad de un mínimo de tres canales que presenten todas las características de un sistema operacional, pero con un solo satélite en órbita, y otro de reserva preparado en tierra para ser lanzado en caso de fallo del primero.

c) Sistema operacional que daría plena garantía de un servicio, al disponer de dos satélites en órbita, y un satélite en tierra preparado para su lanzamiento.



Las parábolas para la recepción directa de señales procedentes de satélites cercanos son de pequeño tamaño, pero no sucede así cuando se han de recoger señales muy débiles procedentes de satélites lejanos.

ANTENAS DEL SATELITE ESPAÑOL

En el informe previo, ya mencionado, se exponen tres posibles soluciones para las antenas transmisoras del satélite para obtener las coberturas deseadas. Estas son:

1) Utilización de dos antenas de reflectores parabólicos de sección elíptica, una para la cobertura de la Península y Baleares, de dimensiones aproximadas 2,00 × 1,00 m y otra de 3,1 × 1,4 m para la cobertura de las Islas Canarias. Esta solución supone un diseño tecnológico sencillo siempre y cuando las considerables dimensiones del

reflector dedicado a la cobertura de Canarias, no plantee problemas de alojamiento en la cofia del lanzador, ya que, en ese caso, la antena de Canarias tendría que ser del tipo desplegable con los riesgos tecnológicos que esto conlleva.

2) La segunda opción se diferencia solamente de la anterior en el haz dedicado a Canarias, que podría ser circular en lugar de elíptico, lo que supondría una antena con reflector parabólico circular de aproximadamente 1,7 m, más pequeña que en el caso anterior. No obstante, al variar la forma de la zona de cobertura habría que tener en cuenta de qué manera podría afectar al desbordamiento, e incremento de interferencias, sobre los países vecinos, ya que este diagrama de radiación no fue considerado por la Conferencia de Ginebra 77. Si se adopta esta solución sería necesario efectuar una nueva coordinación con los países afectados.
3) Por último, la utilización de una antena multihaz sería una tercera solución. Este tipo de antena se compone de un único reflector alimentado por tantas bobinas, descentradas, como haces se deseen. Esta solución, óptima respecto al problema del peso ya que ahorra un reflector, implica un diseño y tecnología aún no bien conocidos.

Para el caso de las antenas receptoras del satélite también pueden presentarse varias opciones:

1) Antena dedicada a la recepción, formada por un reflector circular del orden de 2 m de diámetro que permitiría cubrir el territorio peninsular que es donde estará ubicada la estación principal de transmisión.
2) Compartir la antena transmisora hacia la Península, utilizando el mismo alimentador u otro adicional según la frecuencia que se utilice en el enlace ascendente, para lo que es imprescindible estudiar la compatibilidad de bandas.
3) Utilización de la antena multihaz, a la que se ha hecho referencia al hablar de las antenas transmisoras, mediante la adición de una nueva bocina.

POTENCIA NECESARIA

En lo que se refiere a la potencia hay que señalar en primer lugar que en la Conferencia de Ginebra se fijó para la

recepción individual una densidad de flujo de potencia de -103 dBW/m^2 en el límite de la zona de cobertura para el 99 % del mes más desfavorable y una relación portadora/ruido en la recepción de 14 dB para el mismo porcentaje de tiempo. Se consideró, además, como factor de calidad del sistema de recepción un valor $G/T=6$ dB/K.

De acuerdo con estos parámetros, en el Plan se establece para el canal de frecuencia más alta (39) del satélite español una PIRE en el eje de radiación de 64,2 dBW para el haz de la Península y de 63 dBW para el haz de las Islas Canarias. Dadas las características de las antenas, sus ganancias resultan ser 40,5 y 44,6 dBi respectivamente.

Suponiendo que las pérdidas de acoplamiento transmisor-antena, en el guiaondas, multiplexor y conectores ascienden a 2 dB, la potencia de equipo requerida para cada canal sería:

$$64{,}2-40{,}5+2=25{,}7 \text{ dBW} <> 371 \text{ W}$$

para la cobertura de la Península, y

$$63-44{,}6+2=20{,}4 \text{ dBW} <> 109 \text{ W}$$

para la cobertura de las Islas Canarias.

En la actualidad sólo se han conseguido tubos de ondas progresivas con una potencia máxima de 230 y 250 W en Francia y Alemania, respectivamente, aunque se encuentran en desarrollo tubos de hasta 450 vatios. Para la cobertura de Canarias no hay ningún problema, pero para la correspondiente a la Península habría que recurrir a dos tubos en paralelo de 230 vatios.

Si se tienen en cuenta las necesarias redundancias que hay que disponer en el paso de salida de los distintos canales, esta solución complica excesivamente el diseño y construcción de la carga útil del satélite.

Sin embargo, no hay que olvidar que los valores anteriormente mencionados se han obtenido suponiendo que se cumplen fielmente, los parámetros establecidos en el Plan de Ginebra que, como hemos dicho, se basan en un G/T del sistema receptor igual a 6. Este valor es excesivamente conservador. En Estados Unidos ya se manejan cifras de hasta 13,4 y en las bases técnicas para la Conferencia de Planificación en la Región 2 se establecen valores de 8 a 10.

Conviene recordar, por último, que la PIRE+G/T es un valor constante, y que por tanto, pueden hacerse transacciones entre los dos parámetros hasta llegar a valores óptimos del coste y la complejidad del satélite y de los sistemas receptores. Pueden admitirse perfectamente, como se ha hecho en el caso del satélite francés, valores inferiores a -103 dBW/m^2 de la densidad de flujo de potencia, con la consiguiente disminución de la potencia de los tubos de ondas progresivas y el correspondiente aumento de G/T sin que ello suponga un importante aumento del costo de los receptores.

Sin embargo, el valor de la densidad de flujo de potencia no puede rebajarse demasiado, ya que cuando aumente el número de satélites previstos en el Plan, podrían producirse interferencias cuyo cálculo se ha basado en el valor -103 dBW/m^2.

La potencia primaria requerida será suministrada por los paneles solares que necesitarán una superficie del orden de 50 m^2. Las dimensiones físicas del satélite serán compatibles con las que permiten los lanzadores disponibles. El satélite con los paneles desplegados alcanzará, en su dimensionado mayor 20 m.

SATELITES COMPARTIDOS

Dado que la posición orbital asignada a España será también utilizada por otros países, cabe la posibilidad de estudiar otras alternativas al sistema de radiodifusión basadas en la compartición de un mismo satélite por más de un país.

De los países asignados a nuestra posición orbital, Portugal, Gran Bretaña e Irlanda serían las alternativas con más posibilidades a tener en cuenta. La ventaja de estas alternativas, en una primera aproximación, frente a un sistema propio español, se deriva de la división de los costes de desarrollo e implantación del sector espacial del sistema (satélites y lanzamientos) y tiene como desventaja la menor capacidad del servicio (menor número de canales) ya que la potencia y masa del satélite, que se encuentran limitadas por la capacidad de los lanzadores, han de repartirse entre los países que participen.

